



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Rui Pedro Oliveira Arrifana Horta

Energias Renováveis

Gestão de plataformas eólicas offshore

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares

Navais, na especialidade de Marinha



Alfeite

2017



ESCOLA NAVAL

la santé est le bien faire



Rui Pedro Oliveira Arrifana Horta

Energias Renováveis

Gestão de plataformas eólicas offshore

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na
especialidade de Marinha

Orientação de: PROF. Cortez e Correia

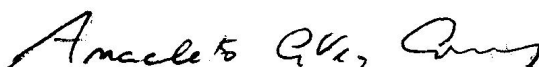
Coorientação de: CTEN Antunes Nunes

PROF Mário Gatta

O Aluno Mestrando

ASPOF Arrifana Horta

O Orientador



Prof. Cortez e Correia

Alfeite

2017

Epígrafe

O MAR-PORTUGAL é um designo nacional cujo potencial será concretizado pela valorização económica, social e ambiental do oceano e das zonas costeiras, para benefício de todos os Portugueses.

Estratégia nacional para o Mar 2013-2020

Dedicatória

Ao meu pai, Capitão-de-Fragata Arrifana Horta, que me transmitiu os valores da Escola Naval e da Marinha e à minha mãe, Olinda Horta, pela Visão de um futuro cheio de sucessos, baseado na disciplina e perseverança na prossecução dos objetivos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu Orientador, Professor Cortez e Correia, e aos meus coorientadores, Capitão-Tenente Antunes Nunes e Professor Mário Gatta, pelo incentivo, disponibilidade e conhecimento demonstrados nos desafios e oportunidades subjacentes à elaboração da presente dissertação de mestrado.

Ao Capitão-de-Fragata Velho Gouveia pelas oportunas, profundas e atempadas observações efetuadas, com principal enfoque na ligação deste projeto à envolvente legislativa e às competências nestes assuntos da Marinha e Autoridade Marítima Nacional.

Ao Instituto Hidrográfico, na pessoa da Segundo-Tenente ST-EGEO Sónia Godinho e do Primeiro-Tenente TSN Quaresma dos Santos pela disponibilidade e vasta experiência profissional em assuntos SIG, bem como pela disponibilização de dados fundamentais para a concretização desta dissertação.

Por fim, agradeço à minha família, namorada e colegas do Clube de Natação que represento, pelo apoio incondicional constante e paciência demonstrada ao longo deste período intenso da minha vida académica.

Obrigado.

Resumo

O estado de degradação da qualidade do ambiente atual, de um modo geral, e o risco a que tem vindo a ser exposta a atmosfera terrestre, em particular, suscita muitas preocupações aos habitantes do planeta e que devem envidar todos os esforços no sentido de o preservar.

Uma das formas de o fazer passa pelo uso de energias renováveis, como a energia eólica que tem sido aproveitada em terra, mas que cada vez mais se estudam formas de aproveitar o seu potencial no mar. Portugal possui sob sua soberania ou jurisdição vastos espaços marítimos que apresentam potencial para este fim.

O objetivo deste trabalho é o de estudar o potencial do mar português em termos de aproveitamento da energia eólica offshore tentando identificar os locais onde tal poderá ser levado a efeito com maior facilidade e proveito.

Para isso, são analisados dados recolhidos em diversas entidades públicas e privadas, a partir dos quais são construídos mapas com recurso a SIG e Análise Multicritério. É ainda estudada a questão legal deste problema uma vez que se enquadra no âmbito do ordenamento do espaço marítimo.

Do estudo realizado podemos concluir que, de facto, os espaços marítimos sob soberania ou jurisdição portuguesa apresentam o potencial desejado para este fim, verificando também que o regime legal é adequado para o mesmo efeito. Conclui-se ainda que a tecnologia atual está suficientemente desenvolvida para que o aproveitamento da energia eólica offshore seja feito de forma sustentável.

Finalmente, analisou-se o interesse e a importância que este assunto merece à Marinha e à Autoridade Marítimas Nacional como instituições fulcrais no âmbito do exercício da autoridade do Estado no mar a quem, por isso, caberá garantir que, também neste contexto, o mar português seja um ativo relevante para o Portugal e para os portugueses.

Palavras-chave: Sustentabilidade; energias renováveis; espaço marítimo; ordenamento; SIG.

Abstract

The state of degradation of the environment quality, in general, and the risk to which the Earth's atmosphere has been exposed rises to many concerns for the inhabitants of the planet, that must join all their efforts to preserve it.

One of the ways to do this, is to use renewable energy, such as wind energy that has been used so far on land, but more and more studies and trials are on course to exploit its potential offshore.

Portugal possesses under its sovereignty or jurisdiction vast maritime spaces that presents huge potential for this purpose and which have already proved that this type of energy can be used with relative ease.

The objective of this work is to study the potential of the Portuguese sea in terms of the use of offshore wind energy and trying to identify the places where it can be carried out with greater ease and profit.

For this, data collected in several public and private entities has been analyzed and maps has been constructed using GIS and Multicriteria Analysis. The legal issue of this problem is also studied since it falls within the scope of maritime spatial planning.

From this study, we can conclude in fact that maritime areas under Portuguese sovereignty or jurisdiction have the desired potential for this purpose, also verifying that the legal regime is suitable for the same effect. It is also concluded that the current technology is sufficiently developed so that the use of offshore wind energy is made in a sustainable way.

Finally, it was analyzed the interest and importance that this subject deserves for the Navy and the National Maritime Authority, as central institutions in the exercise of the authority of the State at sea, to which it is necessary to ensure that, also in this context, the Sea is a relevant asset for Portugal and for the Portuguese.

Key Words: Renewable energy; Offshore wind farms; SDSS.

Índice

Epígrafe	v
Dedicatória	vii
Agradecimentos.....	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Lista de siglas e acrónimos	xix
Lista de Figuras	xxiii
Lista de Tabelas	xxv
Lista de Equações e Fórmulas.....	xxvii
1. Introdução	3
1.1 Enquadramento do problema.....	3
1.2 Âmbito da investigação.....	4
1.3 Objetivo da dissertação	8
1.4 Metodologia de investigação.....	9
1.5 Estrutura de dissertação	10
2. Energias eólicas offshore em Portugal	15
2.1 Estratégia Nacional	15
2.2 Situação atual e perspetivas futuras.....	19
2.3 Regime legal de exploração deste tipo de energias no mar	24
2.3.1 Legislação Aplicável	24
2.3.2 Etapas de licenciamento	26
3. Estado da Arte	31
3.1 Sistemas de apoio à decisão espacial	31
3.2 Análise Multicritério em Sistemas Geográficos	36
4. Validação e Implementação do Modelo	43
4.1 Avaliação e Validação do Modelo	43
4.2 Implementação teórica do modelo	45
4.2.1 1ª Fase.....	45
4.2.2 2ª Fase.....	50

4.2.3 Método AHP.....	60
5. Recolha e Tratamento de Dados	65
5.1 Recolha e inserção dos dados em ArcGIS	65
5.2 Aplicação e validação do modelo	72
5.2.1 1ª Fase.....	72
5.2.2 2ª Fase.....	74
6. Análise de Resultados.....	79
6.1 Análise.....	79
6.2 Análise de Sensibilidade.....	80
6.3 Resposta à questão de investigação	81
7. Conclusões.....	87
7.1 Síntese.....	87
7.2 Desafios/Trabalhos Futuros	89
7.2.1 Desafios.....	89
7.2.2 Trabalhos futuros.....	90
Bibliografia.....	91
Apêndices	103
Apêndice A.....	105
Apêndice B.....	107
Apêndice C.....	109
Apêndice D	111
Apêndice E	113
Apêndice F	115
Apêndice G	117
Apêndice H	119
Apêndice I.....	121
Apêndice J.....	123
Apêndice K.....	125
Apêndice L	127
Apêndice M.....	129
Apêndice N	131
Apêndice O	133
Apêndice P	135
Apêndice Q	137

Apêndice R.....	139
Apêndice S.....	141
Apêndice T.....	143
Apêndice U.....	145
Apêndice V.....	147
Apêndice W.....	149
Apêndice X.....	151

Lista de siglas e acrónimos

AHP	Analytic hierarchy process
AIS	<i>Automatic Identification System</i>
AMN	Autoridade Marítima Nacional
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
AP	Áreas Programáticas
APA	Estudo de Impacto Ambiental
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CCDR	Estudo de Incidências Ambientais
CEP	Consulta de Entidades Públicas
CGIS	<i>Canada Geographic Information System</i>
CI	<i>Consistency Index</i>
CO₂	Dióxido de Carbono-
CR	<i>Consistency Ratio</i>
DED	Domínios Estratégicos de Desenvolvimento
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DGPM	Direção-Geral de Política no Mar
DGRM	Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos
DQEM	Diretiva Quadro Estratégia Marinha
DSS	<i>Decision Support Systems</i>
EA	Eixo de Ação
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – Organização intergovernamental independente apoiada pela maioria dos países da Europa
EDP	Energias de Portugal- empresa do setor energético
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité
EMEPC	Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental
ENM	Estratégia Nacional para o Mar
ENMC	Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis

ES	Eixo de Suporte
EUA	Estados Unidos da América
GWh	Unidade de Energia Elétrica- 10 ⁹ Wh
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IAPMEI	Agência para a Competitividade e Inovação, I. P.
IBA's	Áreas Importantes para as Aves e Biodiversidade
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
INAG	Instituto Nacional da Água- agora Agência Portuguesa do Ambiente
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
ISQ	Instituto de Soldadura e Qualidade
IST	Instituto Superior Técnico
LBOGEM	Lei Base de Ordenamento e Gestão do Espaço Marítimo
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MA	Matriz de Ação
MADM	<i>Multi-Attribute Decision Making</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MCDM	<i>Multi- Criteria Decision Making</i>
MODM	<i>Multi- Objective Decision Making</i>
MONICAP	Sistema de monitorização para a inspeção das atividades de pesca
MW	Megawatt- 10 ⁶
NER300	Mecanismo de incentivo estabelecido na Diretiva 2009/29/CE
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
Nm	<i>Nautical miles</i>
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
OLAP's	<i>On-Line Analytical Processing</i>
PA	Programa de Ação
PIB	Produto Interno Bruto
PMI	Política Marítima Integrada
PMP	Plano Mar -Portugal
POEM	Plano de Ordenamento de Espaço Marítimo

PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations</i>
PSOEM	Plano de Situação do Ordenamento do Espaço Marítimo Nacional
RI	<i>Random Index</i>
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SD	Sistemas Distribuídos
SDSS	<i>Spatial Decision Support System</i>
SEAD	Sistema Espacial de Apoio à Decisão
SIC	Sítios de Importância Comunitária e da Lista Nacional
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPEA	Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves
TOPSIS	<i>The technique for order preference by similarity to ideal solutions</i>
TUPEM	Título de Utilização Privativa do Espaço Marítimo
UE	União Europeia
WaVEC	WavEC, <i>Offshore Renewables</i> - associação privada sem fins lucrativos
WFA	<i>WindFloat Atlantic</i> - primeiro parque eólico offshore em Portugal
ZEE	Zona Económica Exclusiva
ZPE	Zonas de Proteção Especial

Lista de Figuras

Figura 1- Gráfico demonstrativo da Potência eólica instalada na Europa (MW). Fonte: (Pires, 2013)	7
Figura 2 - Método científico. Baseado em (Schafersman, 1994).....	9
Figura 3- Linha de tempo respeitante às iniciativas no âmbito da Estratégia Nacional para o Mar em Portugal	16
Figura 4 - Tipos de fundações (fixas e flutuantes) de acordo com a profundidade	20
Figura 5- Sistema WindFloat- eólica offshore flutuante.....	21
Figura 6- Sistema Demogravi3 em antevisão - eólico offshore fixo Fonte: ("DEMOGRAVI3 é o novo projeto de energia eólica offshore EDP," 2015)	23
Figura 7- Evolução dos SAD. Fonte:(Freitas, 2009)	32
Figura 8- Aplicação dos SIG. Fonte: (Freitas, 2009)	34
Figura 9- Cadeia de desenvolvimento dos SEAD. Fonte: (Freitas, 2009).....	35
Figura 10 - Divisão de MCDM. Baseado em (Clímaco, 1997)	37
Figura 11- 1ª fase do modelo Fonte: (Stefanakou, et al., 2016).....	44
Figura 12- 2ª fase do modelo (Stefanakou, et al., 2016)	44
Figura 13- Processo SIG 1.1 Parte I	45
Figura 14- Processo SIG 1.1 Parte II	45
Figura 15- Exemplo de código Python para criação de grelha irregular.....	46
Figura 16- Processo SIG 1.1 Parte III	46
Figura 17- Processo SIG 1.1 Parte IV	47
Figura 18- Exemplo de uma matriz binária	47
Figura 19- Processo SIG 1.2.....	48
Figura 20- Processo SIG 1.3.....	49
Figura 21- Exemplo de aplicação do produto de Hadamard	49
Figura 22 - Processo SIG 2.1.....	51
Figura 23- Processo SIG 2.2.....	52
Figura 24- Processo SIG 2.3.....	53
Figura 25- Exemplo de conversão de uma grelha em centroides	53
Figura 26- Processo SIG 2.4.....	55

Figura 27- Processo SIG 2.5.....	56
Figura 28- Processo SIG 2.6.....	57
Figura 29- Processo SIG 2.7.....	58
Figura 30 – Gráfico Normalização - Fórmula 1	59
Figura 31- Gráfico Normalização - Fórmula 2	59
Figura 32 - Área da grelha irregular de pontos	73
Figura 33- Comparação entre o modelo e as propostas do POEM	83
Figura 34 - Exemplo de código para cálculo do Potencial eólico.....	105
Figura 35- Dados iniciais da variável limites e águas territoriais	107
Figura 36- Dados iniciais da variável Profundidade	109
Figura 37 – Dados iniciais da variável Áreas Protegidas	111
Figura 38- Dados iniciais da variável Potencial eólico	113
Figura 39- Dados iniciais da variável Rede elétrica.....	115
Figura 40- Dados iniciais da variável Portos	117
Figura 41- Dados iniciais da variável Áreas residenciais	119
Figura 42 - Dados iniciais da variável Rotas marítimas.....	121
Figura 43 - Dados iniciais da variável Cabos submarinos	123
Figura 44- Raster com 6 milhas de costa	125
Figura 45- Raster Profundidades inferiores a 50 metros.....	127
Figura 46 - Raster Áreas Protegidas.....	129
Figura 47 - Raster Máscara Binária- 1ª Fase	131
Figura 48- Raster Potencial Eólico Normalizado	133
Figura 49 - Raster Distâncias Normalizadas à Rede Elétrica.....	135
Figura 50 - Raster Distâncias Normalizadas aos Portos Principais	137
Figura 51 - Raster Distâncias Normalizadas das Áreas residenciais	139
Figura 52 - Distâncias Normalizadas aos Corredores de Tráfego Marítimo	141
Figura 53 - Raster Distâncias Normalizadas às Áreas Protegidas	143
Figura 54 - Raster Distâncias Normalizadas aos Cabos Submarinos	145
Figura 55- Locais ideais para implementação de plataformas eólicas offshore....	147
Figura 56 - Modelo final, com Análise de sensibilidade 1	149
Figura 57 - Modelo final, com Análise de sensibilidade 2	151

Lista de Tabelas

Tabela 1- Vantagens e desvantagens do uso da energia eólica como fonte de energia. Fonte:(Lavado, 2009).....	5
Tabela 2- Vantagens e desvantagens do uso da energia eólica offshore. Fonte: (Pires, 2013).....	6
Tabela 3- Etapas do processamento de licenciamento em regime geral.....	27
Tabela 4- Escala para Pairwise Comparision.....	60
Tabela 5 - Índices de Inconsistência Random	61
Tabela 6- Propriedades dos dados dos limites e águas territoriais	67
Tabela 7- Propriedades dos dados da proteção ambiental	68
Tabela 8 - Propriedades dos dados da Profundidade	69
Tabela 9 - Propriedades dos dados do Potencial Eólico	70
Tabela 10 - Propriedades dos dados da Rede Elétrica.....	70
Tabela 11 - Propriedades dos dados dos Portos.....	70
Tabela 12 - Propriedades dos dados das Áreas Residenciais	71
Tabela 13 - Propriedades dos dados das Rotas Marítimas.....	71
Tabela 14 - Propriedades dos dados dos Cabos Submarinos	71
Tabela 15- Hierarquia entre as variáveis da 2ª Fase.....	81

Lista de Equações e Fórmulas

Equação 1..... 59

Equação 2..... 59

Equação 3..... 60

Equação 4..... 61

Equação 5..... 69

Equação 6..... 69

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do problema

1.2 Âmbito da investigação

1.3 Objetivo da dissertação

1.4 Metodologia de investigação

1.5 Estrutura da dissertação

1. Introdução

1.1 Enquadramento do problema

O crescimento económico e populacional é um fenómeno recente na história da humanidade. Durante milénios, a humanidade conviveu com baixas taxas de crescimento demográfico e económico. Porém, após a Revolução Industrial e Energética (baseada na utilização de combustíveis fósseis) ocorrida no final do século XVIII, a humanidade expandiu as atividades antrópicas por todos os cantos do Planeta, com impacto negativo na sustentabilidade dos ecossistemas. O Antropoceno - época da dominação humana - representa um novo período da história da Terra em que o ser humano se tornou a causa principal da escalada na mudança ambiental e aquecimento global (Alves, 2014). A atividade humana na superfície terrestre tem levado à degradação do ambiente e põe em causa a sustentabilidade futura, com o sector energético a ser o maior responsável pelas emissões poluentes (Cardoso, 2007).

Perante este facto, as energias renováveis são determinantes como alternativa aos combustíveis fósseis, dados os seus efeitos nocivos para o ambiente (Cardoso, 2007).

Por outro lado, de um ponto de vista global, os oceanos constituem cerca de 70% da superfície da Terra e têm um papel decisivo para a existência de vida, pois são um elemento determinante na formação do clima e na regulação dos ciclos hidrológicos (Hansen et al., 1985). É pelos oceanos, através de cabos submarinos, que 95% da Internet chega aos 4 cantos do mundo.

Para Portugal numa perspetiva político-geográfica, o oceano é incontestavelmente o recurso natural mais importante (Carvalho, 1995). Cerca de 90% do turismo, em Portugal, tem por base infraestruturas no litoral, sendo através das infraestruturas portuárias que chegam 70% das importações e 100% do petróleo.

Contudo, o oceano não é apenas um recurso natural com elevado potencial económico. É também o elo que liga o continente aos Arquipélagos dos Açores e da Madeira, conferindo coesão territorial ao país. A Zona económica exclusiva (ZEE) de Portugal é uma componente decisiva da geografia do país 18 vezes superior à dimensão

do território nacional. Se se considerar a extensão da plataforma continental reclamada, além das 200 milhas, esse valor sobe para, ou até, 40 vezes mais (Firminio, 2016).

Após 1975, depois da independência das ex-colónias e com a perspetiva de integração na Europa, Portugal, deixou de considerar relevante nas suas opções estratégicas o mar (Fonseca, 2006). No entanto, o estudo cuidadoso do potencial do oceano, dos seus recursos e diversos sectores económicos, tem revelado um vasto manancial de desafios e oportunidades. Entre essas oportunidades (Martins, 2009), diretamente relacionada com o âmbito desta dissertação, inclui-se o desenvolvimento e exploração da tecnologia de aproveitamento das energias renováveis. Esta é uma oportunidade que deverá ser aproveitada pelo país, não só pela redução da fatura energética nacional, mas também pelo sinal dado no sentido da exploração do potencial económico dos oceanos (CEO, 2004). Atualmente, as alternativas aos combustíveis fósseis obtidas a partir do oceano, são a energia das ondas e a energia eólica (Ribeiro, 2008).

A produção de energia elétrica a partir da energia das ondas é baseada em centrais de 2ª geração (*nearshore*, entre 10 e 25m de profundidade) e de 3ª geração (*offshore*, ao largo da costa) (DGEG, 2009).

No âmbito desta dissertação, não iremos considerar a produção deste tipo de energia, visto ainda estar numa fase experimental e sem expectativas de desenvolvimento no futuro próximo, que possam contribuir para as metas previstas pelo protocolo de Quioto, com emendas e o Acordo de Paris (UNFCCC, 2014).

O foco da dissertação será pois a energia eólica, cuja importância se tem revelado crescente como fonte de produção de eletricidade (Ferreira, 2007).

1.2 Âmbito da investigação

O uso de turbinas eólicas para geração de energia, remonta aos finais do séc. XVIII com a construção de uma turbina de 12 kW por Charles Brush nos EUA e com a pesquisa de Poul la Cour na Dinamarca (Burton, et al., 2011). Desde 1980, também na Dinamarca, começaram a ser fabricados os primeiros aerogeradores, sistemas de conversão de energia eólica para produção de eletricidade, tendo sido desenvolvidos para o mercado, por pequenas companhias de equipamentos agrícolas (Kamp, et al., 2004).

Atualmente, a energia eólica é a fonte de energia renovável mais bem-sucedida na produção de eletricidade, apresentando uma segurança de abastecimento energético com sustentabilidade ambiental e viabilidade económica. As vantagens dos sistemas eólicos caracterizam-se por não produzirem emissões tóxicas ou poluentes, nem lixo e possibilitarem outras atividades no meio envolvente, como por exemplo a pesca e a navegação, o que a torna a fonte energética com menor impacto ambiental (ENEOP, 2012).

Segundo os analistas, a energia do vento tem mais benefícios e menos prejuízos que qualquer outra das energias renováveis (Tabela 1), de tal forma que hoje é reconhecida, como uma energia vasta e benigna em termos ambientais que tanto pode fornecer eletricidade como hidrogénio para células a custo menor (Miller, 2006).

Tabela 1- Vantagens e desvantagens do uso da energia eólica como fonte de energia. Fonte:(Lavado, 2009)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Rede energética moderada a elevada; • Elevada eficiência; • Custos moderados (instalação, manutenção, sistema <i>backup</i>, ligação ao sistema de distribuição elétrica); • Impactos ambientais muito baixos; • Não existe emissão de CO₂ para a atmosfera quando em laboração; • Construção rápida e em rápida expansão; • Projeto <i>on</i> e <i>off shore</i>; • Tecnologia desenvolvida; • O solo pode ser aproveitado para outras atividades (agrícola ou pecuária). 	<ul style="list-style-type: none"> • São necessários ventos constantes; • Sistema de <i>backup</i> necessário quando o vento é fraco; • Os parques eólicos necessitam de grandes áreas; • Poluição visual; • Poluição sonora quando localizados perto de localidades; • Pode interferir nos voos migratórios das aves e provocar a morte a algumas destas; • Quando em locais remotos é necessário fazer a ligação ao sistema de distribuição elétrica; • Não se conhecer forma de armazenamento.

A energia eólica apresenta potencialidade de garantir uma parte significativa da produção de eletricidade nos próximos 20 a 30 anos se forem realizados os investimentos necessários (Santos, 2007). O aproveitamento exaustivo da energia eólica irá povoar abundantemente a paisagem com aerogeradores, provocando impactes ambientais. As turbinas dos aerogeradores podem provocar interferências eletromagnéticas, que interferem com radares e produzem poluição sonora, o que se torna um impacte negativo se se localizarem perto de localidades. Os parques eólicos, cujos aerogeradores se encontram espalhados pelas cumeadas das serras, provocam um impacte visual e estético que pode ser considerado negativo pelos moradores das localidades mais próximas. Para além de que as pás dos aerogeradores podem ser fatais para as espécies de aves migratórias. Estes impactes podem ser minimizados se os

aerogeradores forem instalados em zonas que não interferem com radares e com rotas migratórias. Uma das grandes linhas de desenvolvimento é a instalação de parques *offshore*, onde estes impactes são minimizados (Garcia, 2004).

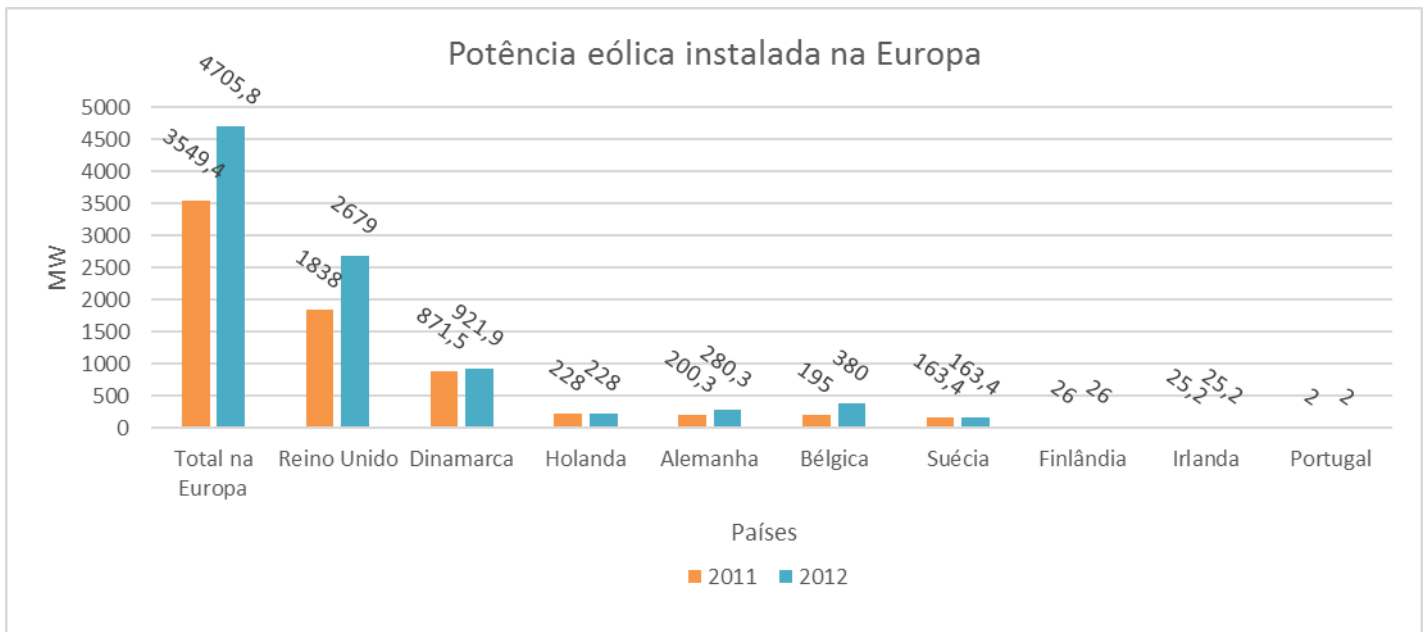
O desenvolvimento em larga escala de turbinas eólicas e a crescente integração de parques eólicos em terra originou um esgotamento de locais ideais para a instalação deste tipo de tecnologias, surgindo assim o forte interesse pela produção eólica *offshore*, especialmente para a instalação de grandes parques eólicos *offshore* com milhares de MW de capacidade instalada. Desta forma, são instalados aerogeradores em ambiente marítimo tendo em vista o aproveitamento do recurso eólico, gerando assim energia elétrica que posteriormente será transmitida para as redes continentais. Este forte interesse deve-se às vantagens inerentes que esta instalação em ambiente *offshore* possui (Muyeen, et al., 2010), nomeadamente:

Tabela 2- Vantagens e desvantagens do uso da energia eólica *offshore*. Fonte: (Pires, 2013)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Maior disponibilidade de recursos no mar, nomeadamente a qualidade do vento; • Menor impacto ambiental; • Baixa intensidade de turbulência, aumentando assim o tempo de vida útil das turbinas; • Menor impacto visual; • Maior velocidade média do vento; • Possibilidade de usar as plataformas de petróleo já existentes para construir parte do parque eólico, após extração de todos os óleos existentes, reduzindo assim os custos da construção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas extremas; • A manutenção é difícil de efetuar, havendo a necessidade dos materiais serem muito robustos; • O elevado teor de sal no ar cria problemas ao nível da refrigeração e de corrosão dos equipamentos; • É um ambiente bastante extremo; • As frequências de ressonância na torre são influenciadas pelas ondas do mar; • Longas distâncias à costa, havendo problemas com o transporte da energia; • Demora na reparação de avarias; • A construção de um parque eólico neste ambiente acarreta elevados custos.

Tendo em vista o cumprimento dos objetivos estabelecidos para 2020 e 2030 relativamente à produção de energia a partir de fontes renováveis, a Europa tem sido a grande pioneira na implantação de parques eólicos *offshore* (Pires, 2013). Desta forma, até ao fim do ano de 2012, verificou-se uma supremacia da Europa relativamente ao resto do mundo no que à potência instalada de parques eólicos *offshore* diz respeito, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1- Gráfico demonstrativo da Potência eólica instalada na Europa (MW). Fonte: (Pires, 2013)



No entanto, existe uma limitação espacial onde se podem localizar os aerogeradores, e a aposta na eólica *offshore* depende do tipo de costa litoral e do investimento em tecnologia (Lavado, 2009). É aqui que surgem os desafios à escolha das melhores localizações para as plataformas *offshore* tendo em conta, entre outros critérios, a distância à costa, profundidade, as áreas classificadas ou protegidas, o potencial eólico, a proximidade à rede elétrica, a distância a portos e a intensidade do tráfego marítimo.

Dando cumprimento às diretivas da União Europeia, na sequência do Protocolo de Quioto, Portugal procedeu à definição de áreas de instalação de plataformas eólicas *offshore*, através da elaboração de documentação base para a redação de leis, como o Plano de Ordenamento de Espaço Marítimo (POEM) e respetivos anexos (Planta Síntese Situação Existente e Planta Síntese Situação Potencial). O acompanhamento da implementação deste quadro legal está na alçada da DGPM.

Este tema tem relevância para os órgãos de gestão de Marinha e da Autoridade Marítima Nacional (AMN), face à necessidade de terem de dar parecer por ocasião do licenciamento de plataformas eólicas no espaço de jurisdição marítimo nacional, bem como à necessidade de providenciar os meios necessários à realização de fiscalização das plataformas e verificação dos aspetos relacionados com a segurança da navegação que a instalação de plataformas eólicas envolve.

1.3 Objetivo da dissertação

A presente dissertação enquadrando-se no domínio dos sistemas de apoio à tomada de decisão num contexto espacial visa verificar se os resultados da aplicação de um modelo de decisão baseado em análise multicritério comprovam a adequabilidade das áreas identificadas no POEM como potenciais para a instalação de plataformas *offshore*.

O objeto central desta dissertação pode, pois, ser resumido na seguinte declaração:

- “Verificar se as áreas *offshore* estabelecidas nas Plantas Síntese do POEM para a instalação de plataformas eólicas estão de acordo com os critérios de modelos internacionais utilizados na definição dessas áreas.”

Diretamente relacionada com a declaração da dissertação é a questão de investigação, que se pretende responder no presente estudo, formulada nos seguintes termos:

- “As áreas definidas nos trabalhos resultantes do POEM, estão de acordo com modelos científicos, para a implantação de plataformas eólicas *offshore*?”

Para obtenção da resposta a esta questão principal, é necessário obter respostas a sub-questões relacionadas, a saber:

- Quais os critérios principais na definição das áreas de implantação de plataformas eólicas *offshore*?
- Qual o peso desses critérios na tomada de decisão?
- Qual o método mais adequado para ponderar os critérios de decisão selecionados?
- Existe diferença significativa entre as áreas de implantação de plataformas eólicas *offshore* obtidas pela aplicação do modelo de decisão e as áreas estabelecidas nas cartas que resultam dos trabalhos sobre o ordenamento do espaço marítimo?

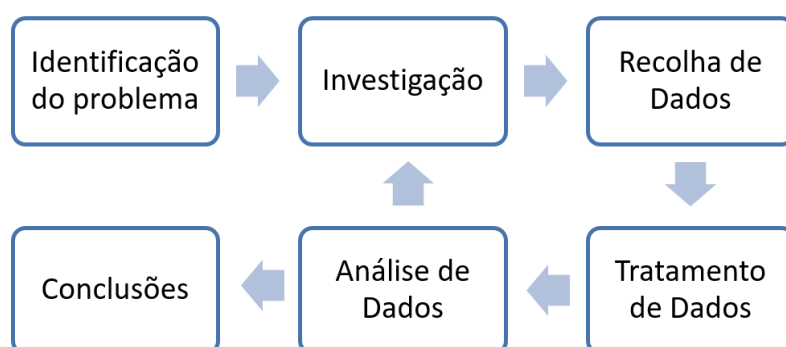
Para responder às sub-questões colocadas e concomitantemente à questão de investigação principal, torna-se necessário criar um **modelo de tomada de decisão** que, a partir de um conjunto de variáveis relevantes, determine as melhores localizações para a instalação de plataformas *offshore* na costa portuguesa. Os resultados obtidos pelo modelo definido nesta dissertação serão comparados com os definidos na legislação, nomeadamente nas Planta de Síntese da Situação Potencial e na Planta de Síntese da Situação Existente do POEM.

Pretende-se que a implementação do protótipo do modelo de tomada de decisão obtido, seja efetuada num *software* de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

1.4 Metodologia de investigação

O desenvolvimento de um trabalho de investigação requer o suporte de uma metodologia de investigação, por forma a conferir validade aos resultados que venham a ser obtidos. No âmbito da presente dissertação utilizou-se como metodologia de investigação o método científico (Schafersman, 1994), cujas principais atividades estão representadas na Figura 2.

Figura 2 - Método científico. Baseado em (Schafersman, 1994)



Optei por escolher o método científico pois esta era a metodologia que me permitiria conhecer e estudar em pormenor o problema de escolha de zonas adequadas à instalação de plataformas eólicas *offshore* na área costeira de Portugal Continental, baseando-me sempre em factos científicos e verificáveis. Com base num conjunto de evidências empíricas verificáveis, análise crítica da evidência e raciocínio, conseguirei adquirir novo conhecimento e desenvolver e estruturar este projeto.

Assim, no início do processo de investigação, para caraterizar e identificar o problema, procedeu-se à análise da documentação que estabelece as localizações permitidas para instalação das plataformas eólicas *offshore* nas águas de jurisdição nacionais (POEM e anexos), limitadas a Portugal Continental.

Na segunda fase (investigação), efetuou-se uma revisão sistemática da literatura sobre o métodos e soluções usadas por outros países para resolver problemas semelhantes. Desta atividade resultou a definição dos critérios/variáveis de avaliação e respetiva ponderação, bem como a seleção do método para a tomada de decisão.

Efetuuou-se posteriormente a recolha e tratamento de dados necessários à instanciação das variáveis do modelo de tomada de decisão adotado.

Após a obtenção do modelo foi efetuada a sua análise e comparação dos resultados obtidos com a solução preconizada pela legislação em vigor. Para assegurar a validade do modelo obtido, todos os dados foram provenientes de fontes fidedignas e oficiais.

Finalmente as conclusões obtidas foram apresentadas, e enunciado o trabalho futuro a realizar, de forma a ampliar os resultados do estudo, designadamente selecionando métodos de decisão alternativos.

1.5 Estrutura de dissertação

O processo de investigação referido na seção anterior, foi documentado com a elaboração do presente documento, estruturado em sete capítulos com o conteúdo seguidamente detalhado:

Capítulo 1 - Introdução: neste capítulo foram descritos: o enquadramento do problema, o âmbito da investigação, o objetivo da dissertação, a metodologia de investigação seguida e a estrutura do documento apresentado;

Capítulo 2 – Energias eólicas offshore em Portugal: Breve descrição da Estratégia Nacional para o MAR(ENM) e a sua evolução na ultima década. Descrição da situação atual relativa a projetos em curso e perspetivas futuras. Enquadramento legal da exploração de energias renováveis offshore com especial enfoque nas etapas de licenciamento possível envolvimento da AMN.

Capítulo 3 – Estado da Arte: procedeu-se à revisão sistemática da literatura à cerca dos sistemas de apoio à decisão espacial e Análise Multicritério em sistemas geográficos.

Capítulo 4 – Validação e implementação do Modelo: Escolhido o modelo para o projeto e foi colocado em esquema a conceptualização teórica do modelo;

Capítulo 5 - Recolha e tratamento de dados: descrição do processo de obtenção e transformação dos dados de forma a conformar-se às variáveis do modelo. A transformação dos dados foi efetuada utilizando um software SIG procedendo-se à manipulação dos diferentes *layers* vetoriais e *raster*, através de várias ferramentas, tendo o processo sido representado diagramaticamente por forma a facilitar a compreensão dos passos envolvidos e a eventual replicação dos mesmos.

Capítulo 6 - Análise de Resultados: com o modelo concluído na plataforma SIG foi efetuada a análise dos resultados, e comparação com o Plano de Síntese da Situação Potencial, de forma a responder à questão de investigação principal;

Capítulo 7 – Conclusões: Efetuada a síntese de toda a dissertação, explanados os desafios e oportunidades encontradas na sua elaboração e as propostas para trabalhos futuros

Capítulo 2

Energia eólica *offshore* em Portugal

2.1 Estratégia Nacional

2.2 Situação atual e perspetivas futuras

2.3 Regime legal de exploração deste tipo de energias no mar

2. Energias eólicas *offshore* em Portugal

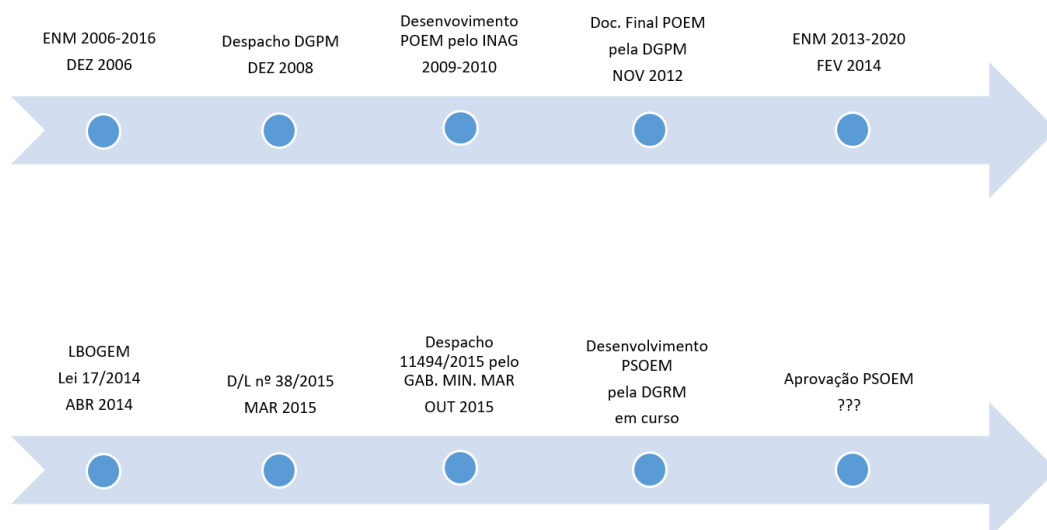
2.1 Estratégia Nacional

Possuindo a segunda maior zona económica exclusiva da União Europeia (UE) (Pauly, 2013) e tendo sido uma das maiores nações marítimas do mundo, Portugal quer continuar a ter um papel importante e ativo na elaboração e implementação das políticas marítimas da UE, designadamente no desenvolvimento da Política Marítima Integrada (PMI) da UE, assim como da nova Estratégia Marítima da União Europeia para a área do Atlântico. No contexto português, o planeamento e a gestão do espaço marítimo nacional estão atualmente a ser objeto de grandes avanços. De facto, em menos de uma década, foram desenvolvidas e aprovadas para Portugal duas estratégias nacionais para o mar (ENM) - a ENM 2006-2016 (Resolução de Conselho de Ministros n.º 163/2006, de 12 de dezembro) e, mais recentemente, a ENM 2013-2020 (Resolução de Conselho de Ministros n.º 12/2014, de 12 de fevereiro). A Diretiva Quadro Estratégia Marinha (DQEM) da UE foi transposta para o direito interno nacional (Decreto-Lei n.º 108/2010, de 13 de Outubro; (Santos, et al., 2015), resultando na elaboração de duas estratégias marítimas nacionais, designadamente "Estratégia marítima da zona económica exclusiva continental (ZEE)" e a "Estratégia de extensão da plataforma continental" (Government, 2012a, 2012b), e o governo português iniciou um processo de ordenamento e de gestão do espaço marítimo, como "processo público de análise e alocação da distribuição espacial e temporal e atividades humanas em áreas [costeiras e] marítimas para alcançar objetivos ecológicos, económicos e sociais"(Pauly, 2013).

Apesar do planeamento e gestão marítima baseado no ecossistema ter sido apresentado como a melhor forma de garantir a sustentabilidade dos ecossistemas marinhos e os serviços que prestam (Pauly, 2013), a maioria dos europeus e as iniciativas nacionais (como é o caso de Portugal) parecem seguir um "uso integrado" como aliás ficou plasmado na ENM 2013-2020 recentemente aprovado (Resolução de Conselho de Ministros n.º 12/2014, de 12 de fevereiro) e onde podemos ler no seu preâmbulo: "É, assim, estruturada uma nova Estratégia Nacional para o Mar, que assume como modelo de desenvolvimento o «Crescimento Azul», entendido numa perspetiva

fundamentalmente intersetorial, baseada no conhecimento e na inovação em todas as atividades e usos que incidem, direta e indiretamente, sobre o mar, e que promove uma maior eficácia no aproveitamento dos recursos, num quadro de exploração sustentada e sustentável.”(Resolução de Conselho de Ministros n.º 12/2014, de 12 de Fevereiro).

Figura 3- Linha de tempo respeitante às iniciativas no âmbito da Estratégia Nacional para o Mar em Portugal



Portugal tem demonstrado, através de estudos da plataforma continental nacional, levados a cabo por várias instituições científicas nacionais, a existência de um enorme potencial e condições ideais para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis no espaço marítimo. Nomeadamente, o aproveitamento do potencial da energia das ondas, bem como do recurso eólico em áreas *offshore*, o qual se caracteriza por uma maior disponibilidade e maior estabilidade face a ausência de obstáculos naturais. Ambos os aproveitamentos têm, para além de projetos-piloto em funcionamento, candidaturas ao instrumento financeiro da Comissão Europeia NER300, tendo sido já aprovada em 2012 a candidatura do projeto eólico *offshore* de 27 MW, denominado *Windfloat*. O crescimento deste setor será, no médio e longo prazo, importante na descarbonização da economia nacional, contribuindo para assegurar o cumprimento das metas de penetração da produção de energia renovável no consumo final bruto e dos comprometimentos na redução de gases com efeito de estufa, objetivos internacionalmente assumidos por Portugal. Para além disso, terá ainda um impacto importante na diminuição das importações de combustíveis fósseis e no aumento da segurança de abastecimento de energia. Neste cenário, será de esperar que se assista à procura de um leque mais alargado de produtos e serviços, associados à dinamização

industrial, com impacte económico importante. As condições físicas do litoral português, nomeadamente atendendo à sua batimetria, implicarão a otimização da tecnologia existente, nomeadamente da utilização de geradores eólicos flutuantes, solução que tem sido adotada nos projetos já existentes, a qual recorre em larga medida à incorporação das indústrias nacionais na fabricação de componentes e infraestruturas.

“O Mar-Portugal é um desígnio nacional cujo potencial será concretizado pela valorização económica, social e ambiental” (Resolução de Conselho de Ministros n.º 12/2014, de 12 de fevereiro). Esta visão é plasmada num plano de ação, o Plano Mar - Portugal (PMP), cujo horizonte temporal foi fixado para o período 2013 -2020. No seu conjunto, o PMP compreende a soma de todos os programas, projetos e ações sectoriais e intersectoriais públicos e privados que decorrem da ENM 2013 -2020. A prossecução da ENM 2013 -2020, através do plano de ação, compreende os seguintes objetivos (Resolução de Conselho de Ministros n.º 12/2014, de 12 de fevereiro):

- Reafirmar a identidade marítima nacional num quadro moderno, pró-ativo e empreendedor.
- Concretizar o potencial económico, geoestratégico e geopolítico do território marítimo nacional, tornando o Mar-Portugal num ativo com benefícios económicos, sociais e ambientais permanentes.
- Criar condições para atrair investimento, nacional e internacional, em todos os sectores da economia do mar, promovendo o crescimento, o emprego, a coesão social e a integridade territorial, e aumentando, até 2020, a contribuição direta do sector mar para o Produto Interno Bruto (PIB) nacional em 50%.
- Reforçar a capacidade científica e tecnológica nacional, estimulando o desenvolvimento de novas áreas de ação que promovam o conhecimento do Oceano e potenciem, de forma eficaz, eficiente e sustentável, os seus recursos, usos, atividades e serviços dos ecossistemas.
- Consagrar Portugal, a nível global, como nação marítima e como parte incontornável da PMI e da estratégia marítima da UE, nomeadamente para a área do Atlântico.

O **PMP** é um documento dinâmico em linha com a produção de pensamento estratégico, em atualização permanente, e assenta numa estrutura matricial, **Matriz de Ação (MA)**, indexada a:

- **Eixos de Ação (EA)**

Pesquisa(EA1), Exploração(EA2) e Preservação(EA3);

- **Domínios Estratégicos de Desenvolvimento (DED)**

Recursos Naturais(DED1) e Infraestruturas, Usos e Atividades(DED2)

Os elementos da Matriz de Ação (MA), gerados pelos Eixos e Ação (EA) e pelos Domínios Estratégicos de Desenvolvimento (DED), definem **Áreas Programáticas (AP)** que agrupam diferentes **Programas de Ação (PA)**, desenvolvidos através de Projetos. A sustentação, facilitação e promoção na execução do **PMP** é assegurada por um **Eixo de Suporte (ES1)** – Governação.

Os agentes do PMP compreendem as entidades públicas, privadas e as ONG direta ou indiretamente envolvidas na ação no mar.

A execução da ENM 2013-2020 através do PMP dá, em suma, prioridade ao desenvolvimento de conhecimento, competências e ferramentas de gestão partilhada, envolvendo todos os agentes, por forma a permitir abordar as causas dos problemas e as soluções possíveis e não, apenas, os seus sintomas. Recorre, para isso, a um modelo de gestão que promove a articulação de políticas e a definição de ações estratégicas e respetivas áreas de intervenção, acrescentando valor e fazendo com que o resultado global seja mais do que a soma das parcelas sectoriais.

No respeitante à **Matriz de Ação (MA)** no âmbito desta dissertação, os **objetivos dos Programas de Ação (PA)** são: Pesquisa e avaliação do potencial do combinado dos recursos energéticos marinhos, assegurando as boas práticas ambientais e os benefícios sociais da sua futura exploração. Os **efeitos esperados** na execução do **PA**, no curto e médio prazo, mediante a concretização e materialização dos respetivos projetos, são:

1- Zonamento do potencial e prospeção do combinado das energias marinhas, renováveis e não renováveis, convencionais e não convencionais, na perspetiva da valorização económica, da segurança energética e da redução da pegada de carbono, assegurando boas práticas.

2- Capacidade de investigação, científica e tecnológica, das energias marinhas, seu mapeamento e avaliação do potencial económico, e impactes ambientais de longo - prazo.

3- Promoção de emprego especializado na área das energias marinhas, associado a um parque de energias renováveis.

4- Governação promotora da pesquisa e exploração dos recursos energéticos marinhos, incluindo o estabelecimento de condições de acesso e de salvaguarda, ou preservação, do ambiente e da biodiversidade marinha e as medidas para reduzir a pegada de carbono.

São igualmente considerados como ações a desenvolver no âmbito do Domínio Estratégico de Desenvolvimento **DED1 – Recursos Naturais**, Sistema **SD3 – Recursos Não Vivos** e Área Programática **AP2: Recursos Energéticos**, os seguintes **Eixos de Ação**:

EA1 – Pesquisa

- Promoção da Investigação e Desenvolvimento (I&D) para a área das energias limpas, ou de baixo teor de emissão de gases de efeito de estufa, nomeadamente a eólica, as ondas, a proveniente de biomassa marinha, a osmótica, as marés e as correntes oceânicas.

EA2 – Exploração

- Estabelecimento de modelos de investimento, financeiro e industrial, produtivos, viáveis e integrados na economia do mar, para a área das energias limpas ou de baixo teor de emissão de gases de efeito de estufa, nomeadamente a eólica, as ondas, a biomassa marinha, a osmótica, as marés, e as correntes oceânicas.

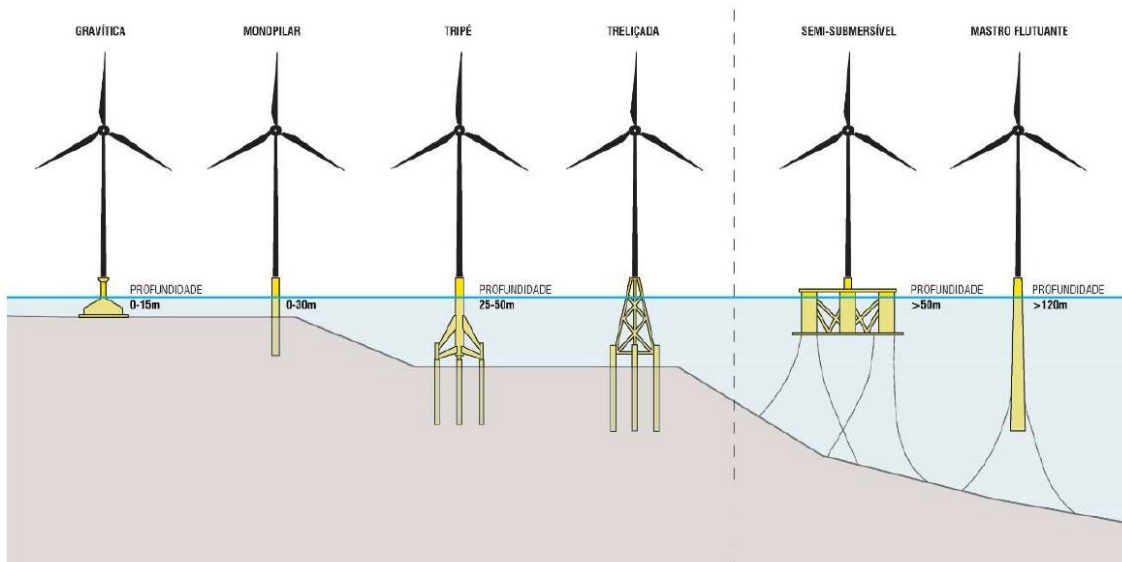
No âmbito do Plano de Ação da Estratégia Nacional para o Mar (Plano Mar-Portugal) foi aprovado o programa Planeamento e ordenamento do espaço e atividades marítimas, que integra o desenvolvimento do POEM, com o objetivo de ordenar os usos e atividades do espaço marítimo, presentes e futuros, em estreita articulação com a gestão da zona costeira, garantindo a utilização sustentável dos recursos, a sua preservação e recuperação, potenciando a utilização eficiente do espaço marinho, no quadro de uma abordagem integrada e intersectorial, e fomentando a importância económica, ambiental e social do mar.

2.2 Situação atual e perspetivas futuras

Ao longo dos últimos anos, tem-se verificado um desenvolvimento de sistemas para o aproveitamento das energias renováveis *offshore*. No que diz respeito aos sistemas eólicos fixos, estes são adequados a locais com profundidades médias a elevadas e encontram-se maioritariamente num processo de avaliação do seu desempenho.

Embora a maioria destes sistemas eólicos flutuantes se encontrem num processo de demonstração, já existem sistemas numa fase de produção e comercialização como é o caso da tecnologia em ambiente marinho, o sistema português *WindFloat* (“WindFloat®,” 2015) e o sistema *Hywind* na Noruega (“Sustainability,” 2016).

Figura 4 - Tipos de fundações (fixas e flutuantes) de acordo com a profundidade



Os sistemas flutuantes possuem algumas vantagens relativamente aos sistemas fixos por serem de maiores dimensões e mais pesados (Vannuci, n.d.). Estas características únicas dos sistemas flutuantes trazem grandes benefícios na sua montagem, que pode ser feita em docas, reduzindo assim, e de forma considerável, os custos e os riscos de instalação. As configurações das plataformas flutuantes são bastante diversificadas, embora se possam categorizar em dois tipos: os sistemas tipo “mastro flutuante” (e.g. Projeto *Hywind*) e as plataformas que asseguram a estabilidade através de elementos de flutuação como é o caso das plataformas semi-submersas (e.g. Projeto *WindFloat*).

Devido ao elevado potencial eólico existente no mar do Norte, no mar Báltico e praticamente em toda a costa Atlântica (IEA, 2005; Silva et al., 2008), aliados à tendência de esgotamento do território terrestre disponível para desenvolvimento de projetos eólicos, a Europa foi direcionada para o aproveitamento da energia eólica *offshore*. No final de 2015, a capacidade eólica *offshore* em operação na Europa atingiu 11 GW e um

total de 3 230 turbinas instaladas em 84 centrais eólicas *offshore* em 11 países europeus, incluindo Portugal.

O LNEG, WaVec, o IST e o ISQ são instituições que têm vindo a desenvolver trabalho no âmbito da energia eólica *offshore*, nomeadamente, na avaliação do recurso energético, na caracterização do desempenho das turbinas e na modelação numérica do desempenho de sistemas flutuantes, entre outras atividades. Em Portugal, o desenvolvimento de tecnologia *offshore* iniciou-se com o consórcio *WindPlus*, formado em 2010 e constituído pelas empresas EDP Inovação, *Principle Power* (a empresa que desenvolveu a tecnologia *windfloat*) e A. Silva Matos, e a sua aposta no projeto *Windfloat* (Figura 5).

Figura 5- Sistema *WindFloat*- eólica *offshore* flutuante



Sendo um projeto pioneiro a nível mundial, o *Windfloat* tem como objetivo central a exploração do recurso eólico em águas profundas. O foco de inovação do projeto baseia-se no desenvolvimento de uma plataforma *flutuante semi-submersível e triangular*, que fica ancorada ao fundo do mar e a sua estabilidade é conseguida através de um sistema de comportas associadas a um sistema de lastro estático e dinâmico.

A tecnologia *WindFloat* apresenta como principais características a possibilidade de instalar a turbina eólica de qualquer fabricante sem ser necessário fazer alterações à

turbina ou à plataforma, a enorme estabilidade da plataforma estática e dinâmica (resultante do tipo de lastro e de placas de estabilização na base das colunas), a não dependência da profundidade do local e a sua construção ser feita totalmente em terra evitando assim dispendiosos e difíceis trabalhos em alto mar.

Toda a construção da fundação e instalação do projeto *WindFloat*, foi realizada em Portugal usando, fundamentalmente, recursos Portugueses e considerado pelo administrador da empresa que coordena o projeto, a EDP Inovação S.A., “o mais bem-sucedido projeto de I&D (projeto de investigação e desenvolvimento), na área das renováveis *offshore* em Portugal, posicionando o país e os parceiros envolvidos na liderança mundial da tecnologia eólica *offshore* flutuante” (“*WindFloat* regressa ao porto depois de missão bem-sucedida no mar,” 2016).

O projeto *WindFloat* foi dividido em três fases: Fase Teste – Projeto Piloto, Fase de conceção do *WindFloat Atlantic* (WFA) – Central Eólica e Fase pré comercial e comercial.

Após cinco anos no mar, o *WindFloat*, protótipo pioneiro de produção de energia eólica, concluiu no final do ano 2016 a fase de testes. O protótipo, com uma turbina eólica de 2 MW foi instalado a cerca de 4 milhas náuticas ao largo da costa portuguesa, perto de Aguçadoura, na Póvoa do Varzim e ligado à rede elétrica em 2011, tendo sido o primeiro projeto de instalação de turbinas eólicas *offshore* em todo o mundo que não implicou a utilização de sistemas pesados de construção e montagem em mar alto, pois foi montado em terra, nos Estaleiros Navais da Lisnave em Setúbal. “Durante o período em que esteve em atividade, provou a fiabilidade da solução tecnológica em condições climáticas adversas, tendo resistido a ondas com mais de 17 metros e ventos superiores a 60 nós. As tempestades marítimas não comprometeram a capacidade de produção da turbina eólica, assente numa plataforma flutuante, uma vez que gerou e injetou na rede elétrica nacional mais de 17 GWh, correspondendo ao consumo de eletricidade de mais de 1400 famílias, de acordo com os perfis médios de consumo.” (“*WindFloat* regressa ao porto depois de missão bem-sucedida no mar,” 2016).

Segundo a mesma fonte, esta fase de teste veio também confirmar a eficácia na geração de energia, para além da estabilidade da plataforma, tendo o desempenho da turbina valores em linha com o desempenho das turbinas baseadas em fundações fixas, o que representa um passo importante no projeto, pois um dos principais objetivos

desta fase teste era demonstrar que o desempenho da turbina não é perturbado pelo facto de ser baseada numa fundação flutuante.

O passo seguinte no projeto *WindFloat* terá agora continuidade umas milhas mais a norte, em Viana do Castelo, onde será instalado o primeiro parque eólico *offshore* flutuante com base nesta tecnologia, designado por “*WindFloat Atlantic (WFA)*”, com capacidade total de 25 megawatts (MW) e composto por três ou quatro turbinas, prevendo-se que esteja operacional já em 2018. O Projeto será financiado através de fundos de I&D nacionais e europeus, que estão ao abrigo do programa de financiamento NER 300 e também do Fundo Português de Carbono.

Outra iniciativa portuguesa, coordenada igualmente pela EDP Renováveis S.A., é o projeto Demogravi3, financiado pelo Horizonte 2020, com uma duração de 4 anos e que tem como objetivo o desenvolvimento e demonstração à escala 1:1 de um sistema eólico fixo ao fundo do mar de tipo gravítico e suporte em tripé que ficará localizado ao largo da Aguçadoura aproveitando o cabo submarino do sistema *Windfloat* (Figura 6).

Figura 6- Sistema Demogravi3 em antevisão - eólico *offshore* fixo Fonte: (“DEMOGRAVI3 é o novo projeto de energia eólica *offshore* EDP,” 2015)



Este projeto foi idealizado com o intuito de desenvolver e testar uma tecnologia inovadora para a instalação de turbinas eólicas fixas em águas com profundidade entre os 30 e 60 m. A montagem de toda a estrutura e elementos constituintes da turbina é efetuada em Terra e só depois é transportada a flutuar até ao local de instalação, o que irá potenciar o ganho de competências em toda a cadeia de valor da energia eólica

offshore, desde o projeto de construção até à operação e manutenção, e permitir estudar a viabilidade técnica desta solução e os respetivos modelos de negócio que dela possam decorrer.

Para além de apresentar os benefícios comuns a outras fontes e energias renováveis, a energia eólica *offshore* tem vindo a revelar-se como uma mais-valia para as espécies marinhas. Estudos efetuados sobre esta matéria revelaram que as estruturas de fixação das turbinas eólicas *offshore* potenciam a criação de abrigos para espécies marinhas. De facto, tem-se verificado no Mar do Norte que estas estruturas funcionam como verdadeiros recifes artificiais para espécies como os mexilhões, lapas e outros crustáceos que, por sua vez, atraem os seus predadores para estas áreas que, por regra, são áreas de interdição à pesca, aumentando por esse facto a biodiversidade e contribuindo para a recuperação de espécies marinhas em risco (Casey, 2012; Owen, 2014).

2.3 Regime legal de exploração deste tipo de energias no mar

2.3.1 Legislação Aplicável

Até à entrada em vigor do Decreto-Lei nº 38/2015, de 12 de março, a utilização privativa dos recursos hídricos do domínio público marítimo era regulada pelo Decreto-Lei nº 226-A/2007, de 31 de maio. No seguimento da Lei nº 17/2014, de 10 de abril, que estabeleceu as Bases da Política de Ordenamento e Gestão do Espaço Marítimo Nacional (LBOGEM), foi desenvolvida pelo Decreto-Lei nº 38/2015, de 12 de março, nomeadamente através do regime jurídico aplicável quer ao ordenamento do espaço marítimo nacional e ao seu acompanhamento permanente e respetiva avaliação técnica, quer à utilização desse espaço, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 2014/89/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de julho de 2014.

Este novo enquadramento legal conferido pela Lei nº 17/2014, de 10 de abril, permitiu a criação de um quadro de arbitragem entre atividades concorrentes, contribuindo para um melhor aproveitamento económico do espaço marítimo nacional e para a minimização dos impactos das atividades humanas no meio marinho. O

ordenamento do espaço marítimo nacional garante ainda a segurança jurídica, a previsibilidade e a transparência necessárias ao desenvolvimento da economia do mar.

Neste seguimento, o Decreto-Lei nº 38/2015, de 12 de março, veio definir, entre outros:

- O regime de elaboração, aprovação, alteração, revisão e suspensão dos instrumentos de ordenamento do espaço marítimo nacional;
- O regime jurídico aplicável aos títulos de utilização privativa do espaço marítimo nacional;
- O regime económico e financeiro associado à utilização privativa do espaço marítimo nacional;
- O regime de acompanhamento permanente e de avaliação técnica do ordenamento do espaço marítimo nacional.

Constituem instrumentos do ordenamento do espaço marítimo nacional o plano de situação e os planos de afetação. O plano de situação representa e identifica a distribuição espacial e temporal dos usos e das atividades existentes e potenciais, procedendo também à identificação dos valores culturais e naturais com relevância estratégica.

Os planos de afetação de áreas e ou volumes do espaço marítimo a usos e atividades não identificados no plano de situação estabelecem, quando aplicável, os respetivos parâmetros de utilização, alterando o plano de situação assim que aprovados.

A 14 de outubro de 2015 foi determinada a elaboração do Plano de Situação do Ordenamento do Espaço Marítimo nacional (PSOEM), por Despacho do Gabinete da Ministra do Mar nº 11494/2015.

A metodologia subjacente à elaboração do PSOEM prevê a participação de Grupos de Trabalho em reuniões coordenadas pela DGRM, cujo o principal enfoque está relacionado com as várias utilidades e atividades existentes, bem como os potenciais do espaço marítimo. Neste contexto, o Grupo de Trabalho - GT4, constituído por representantes da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis (ENMC), Estrutura de Missão para a extensão da Plataforma Continental (EMEPC), Agência para a Competitividade e Inovação, I. P. (IAPMEI) e Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), irá proceder à caracterização do espaço marítimo no que se refere à situação existente e às áreas potenciais para energias

renováveis *offshore*. De referir que neste grupo, para além das energias renováveis *offshore*, também serão abordadas as atividades relacionadas com recursos minerais marinhos, recursos energéticos, infraestruturas e outros usos ou atividades de natureza industrial. Até à aprovação do PSOEM por Resolução do Conselho de Ministros, o Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo (POEM) constitui a situação de referência para o ordenamento do espaço marítimo nacional e para a atribuição de títulos de utilização privativa do espaço marítimo nacional (TUPEM).

2.3.2 Etapas de licenciamento

A utilização do espaço marítimo para produção de energia elétrica *offshore*, por implicar a reserva de uma área ou volume desse espaço, carece da obtenção de TUPEM. O pedido de atribuição de TUPEM é instruído junto da DGEG, que assegura a necessária articulação com a DGRM. Os elementos necessários para a instrução do pedido de atribuição do título de utilização é uma Memória descritiva e justificativa que inclua:

- a) Descrição do processo, dos equipamentos, incluindo estruturas flutuantes, e materiais a utilizar, com indicação das instalações que se pretendem construir e características dos trabalhos a efetuar;
- b) Proposta do programa de monitorização a implementar;
- c) Formas de sinalização e normas de segurança a adotar;
- d) Indicação e caracterização das infraestruturas no espaço marítimo nacional e em terra necessárias para o exercício da atividade, caso aplicável;
- e) Plano de emergência e ou contingência.

O procedimento exposto resumidamente na Tabela 4, é transversal ao licenciamento para um uso ou atividade previsto atualmente no POEM ou que ficará previsto no PSOEM, como é o caso de um projeto de parque eólico *offshore*. De referir igualmente, que a Autoridade Marítima Nacional (AMN) faz parte das entidades públicas a quem, no âmbito do estipulado no nº 2 do artigo 60º do DL 38/2015, de 12 de março, e concluída a fase de saneamento e apreciação liminar, é distribuído o requerimento para emissão de parecer, autorização ou aprovação sobre o pedido de atribuição do TUPEM, de acordo com o anexo II do mesmo decreto-lei.

Tabela 3- Etapas do processamento de licenciamento em regime geral

Entidade	Etapa	Prazo
DGEG	No âmbito do pedido de licenciamento recebe pedido de TUPEM poderá haver lugar a Estudo de Incidências Ambientais (CCDR) ou Estudo de Impacto Ambiental (APA)	
DGRM	Recebe, da DGEG, pedido de TUPEM: apreciação liminar	5 dias
	Aperfeiçoamento do pedido	10 dias
	Consulta entidades públicas	20+10 dias
	Decisão sobre pedido (indeferimento ou decisão favorável)	30 dias
	Decisão favorável/consulta pública	5+15 dias + prazo dos CEP +10 dias se durante período de consulta pública surgir idêntico pedido
	Emissão do TUPEM (sobre a forma de autorização, licença ou concessão)	

Capítulo 3

Estado da Arte

3.1 Sistemas de apoio à decisão espacial

3.2 Análise Multicritério em Sistemas Geográficos

3. Estado da Arte

3.1 Sistemas de apoio à decisão espacial

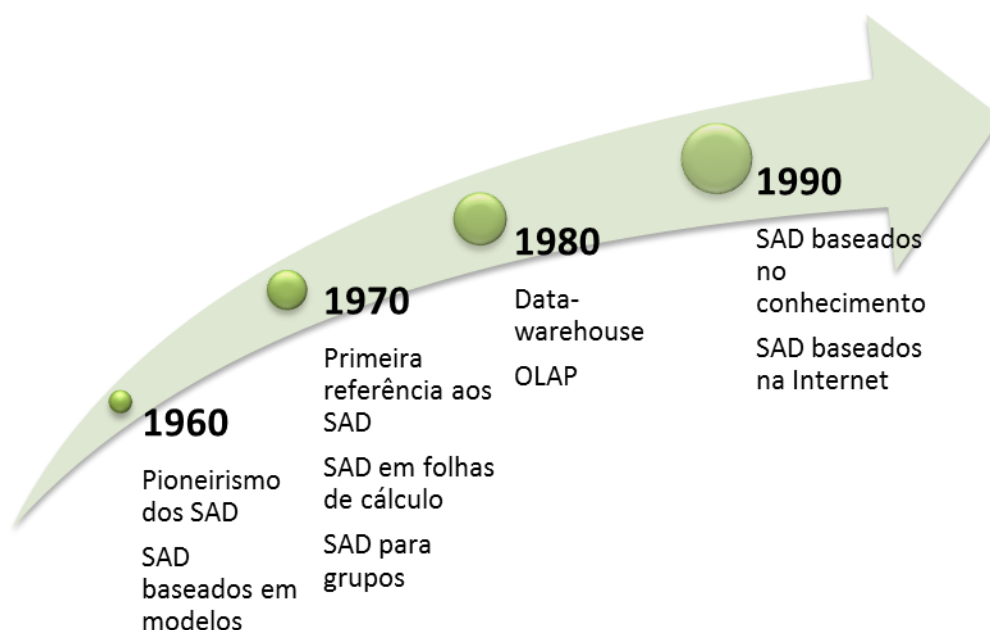
Atualmente, os Sistemas Espaciais de Apoio à decisão (SEAD) desempenham um papel bastante relevante nos diversos setores do mercado. Estes surgiram na década de 1980 como forma de evolução associada aos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) e aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Para percebermos a origem e a evolução dos SEAD, é necessário compreender de forma aprofundada as tecnologias que lhes estiveram na génese e o processo que levou à sua existência. (Freitas, 2009). Deste modo, este capítulo é direcionado para perceber a origem dos SEAD.

Os SAD são definidos como sistemas exploradores e sistematizadores dos dados e da informação, e são reivindicados conceitualmente pelos dois pioneiros Peter Keen e Charles Stabell (D. Power, 2003). Contudo, apenas em 1971, com a publicação do livro *Management Decision Systems* de Michael Scott Morton é que surgiu pela primeira vez escrito esse termo. Nesta publicação alegam que os sistemas de informação de suporte a decisões semiestruturadas e não estruturadas deveriam ser chamados de DSS (do inglês *Decision Support Systems*) ou SAD. Na década de 1980 apareceram as primeiras implementações de sistemas corporativos e financeiros que se prolongaram até ao início da década de 1990, com o advento dos *Data-Warehouses*, OLAP's (*On-Line Analytical Processing*). Assim, com a valorização do conhecimento nas organizações e, principalmente, com o aparecimento da Internet, a evolução dos SAD baseados no conhecimento (*knowledge-driven*) foi imensa, bem como dos primeiros sistemas baseados na *Web* (M. Power, 2007). Assim, os SAD passaram de simples ferramentas de apoio à resolução de problemas e à tomada de decisão para instrumentos importantes com aplicação mais vasta, destacando-se o planeamento, a previsão e simulação, a gestão de problemas e a análise de dados e informação (Subsorn, et al., 2007). Contudo, é de salientar que os SAD também possuem algumas limitações, nomeadamente o facto de não terem capacidade para explorar os dados espaciais e temporais. (Sugumaran & Sugumaran, 2005). É importante referir ainda, que a função dos SAD é suportar, e não substituir, o decisor na tomada de decisão, através do fornecimento da informação

necessária e desprovida do fator subjetividade (Keenan, 2005). A investigação e desenvolvimento dos SAD continuarão, assim, a explorar novas formas de promover a transformação das organizações em torno dos avanços tecnológicos, sociológicos e organizacionais.

A figura seguinte demonstra um resumo cronológico e aplicacional dos SAD, identificando as principais mudanças entre as décadas de 1960 e 1990.

Figura 7- Evolução dos SAD. Fonte:(Freitas, 2009)



Relativamente ao SIG, estes começaram a ser utilizados como ferramentas na área da tecnologia e informação desde meados de 1950, no continente Norte-Americano. Nesta época, eram usados como fins governamentais tais como o planeamento de transportes nas cidades de Detroit e Chicago e o CGIS – *Canada Geographic Information System* (Keenan, 2005). Desde então, os SIG têm vindo a ser alvo de grandes avanços tecnológicos, principalmente, ao longo das últimas duas décadas, proporcionando aos utilizadores um maior controlo das suas tarefas, com carácter espacial, e posterior ajuda no processo de tomada de decisão. Estes sistemas, enquanto instrumentos de apoio à decisão, têm demonstrado grandes evoluções, principalmente no que diz respeito às suas capacidades de representação e análise espacial que estão presentes em aplicações informáticas. Esta evolução despertou interesse noutras áreas em explorar estas funcionalidades, entre as quais a gestão e o suporte à decisão.

A comunidade científica ligada aos SIG centrou os seus esforços no desenho e desenvolvimento de SAD baseados nos SIG, adotando abordagens orientadas por modelos e pelo conhecimento. Em 1986, Armstrong, Densham, e Rushton, introduziram o conceito de SEAD que vêm adicionar aos SIG tradicionais, os modelos de decisão apropriados ao suporte à decisão (Keenan, 2005). Mais tarde, em 1988, D. J. Cohen definiu os SIG como sendo um SAD que integra informação georreferenciada no contexto da resolução de problemas. Muito embora esta definição seja direcionada aos SIG, este momento sugere uma nova fase no desenvolvimento dos SEAD baseados nesta tecnologia (Sugumaran & Sugumaran, 2005). A definição de Cohen, ao conter a alusão aos SAD, contextualiza-nos na esfera dos SEAD, termo que mais tarde será generalizado, aproximando-nos do que já foi discutido anteriormente sobre os tipos de SAD, nomeadamente os orientados aos dados e modelos.

Ao analisarmos os SIG numa perspetiva do âmbito da sua utilização, conseguimos perceber que existe alguma dificuldade em encontrar uma definição única para os SIG, que permita limitar as suas áreas de atuação. Segundo Jarupathirun & Zahedi (2005), essa dificuldade, possivelmente, advém da diversidade das suas utilizações, que podem ser encontradas como resultado da evolução difusa desta tecnologia. Ao nível dos utilizadores, as definições de SIG, também diferem, nomeadamente pelos diferentes tipos de utilização que cada um dá. Ao nível operacional, os utilizadores geram mapas no seu dia-a-dia para suportar a sua atividade. A este nível os SIG podem ser vistos como ferramentas que melhoram a eficiência operacional. Por outro lado, um executivo ao utilizar um SIG para planeamento ou suporte à decisão está a colocar estas tecnologias no domínio dos SAD. No entanto, uma característica que se apresenta como transversal a todos os níveis é a perspetiva espacial. Segundo Power (2001; 2003; 2007), os SEAD surgem classificados como um SAD orientado aos dados, destinando-se essencialmente à manipulação e consulta de dados existentes em fontes internas e externas.

Na Figura 8 apresentam-se algumas aplicações dos SIG em diferentes níveis de decisão dentro da organização. Os níveis, operacional e tático apresentam os usos mais comuns nas aplicações comerciais existentes. Todavia, o seu uso para reporte, planeamento e suporte à decisão coloca-nos num nível muito perto dos SAD que consideramos já da esfera dos SEAD.

Figura 8- Aplicação dos SIG. Fonte: (Freitas, 2009)



Os principais métodos dos SIG usados na análise espacial, segundo o *Open Geospatial Consortium* são (Herring, 2011):

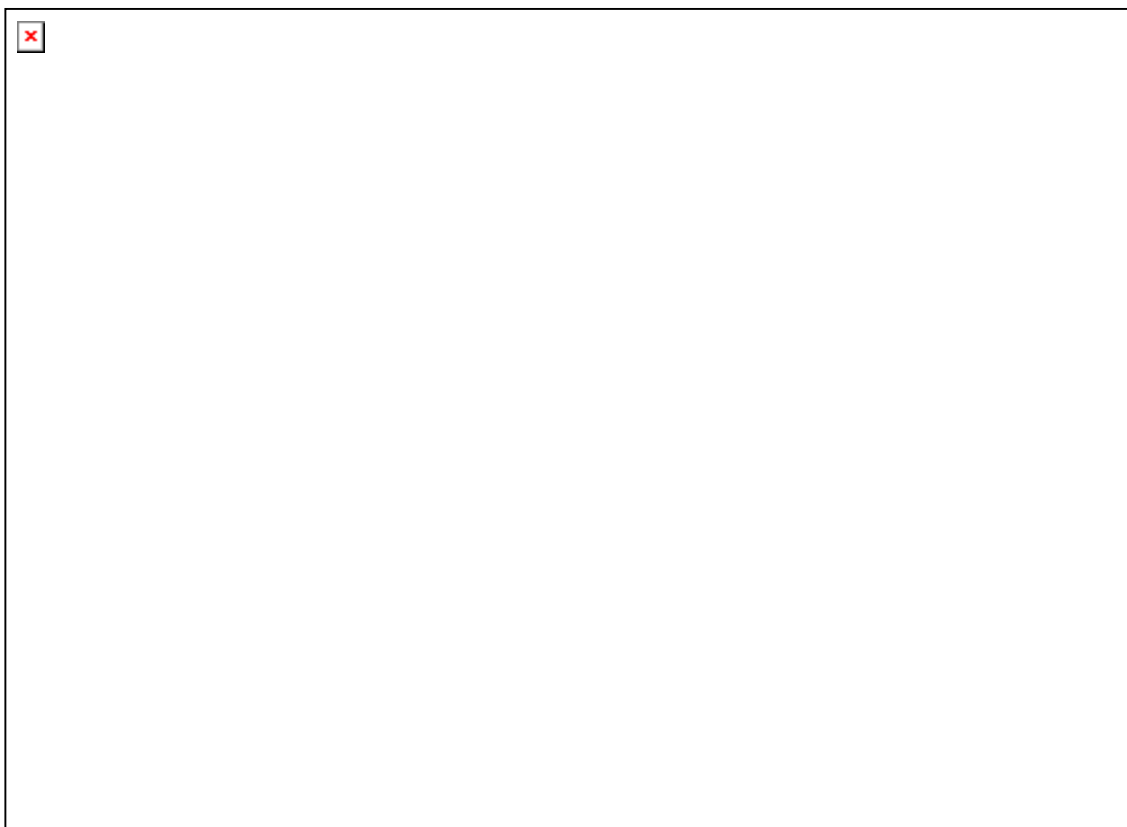
1. *Distance*
2. *Buffer*
3. *Convexhull*
4. *Intersection*
5. *Union*
6. *Difference*
7. *Symdifference*

Através destes métodos é possível explorar as funcionalidades anteriormente apresentadas. Todavia, existe ainda uma funcionalidade dos SIG de grande importância para o uso da análise espacial no apoio à decisão e que está diretamente associada com as apresentadas nos parágrafos anteriores: a integração de fontes de dados internas e externas.

Como podemos agora perceber, pelo exposto anteriormente, as comunidades científicas ligadas aos SIG e aos SAD evoluíram em sentidos semelhantes no que respeita à complementaridade dada aos seus sistemas. De uma forma mais prática, atualmente, encontramos profissionais que evoluíram nas suas carreiras e que precisam de necessidades semelhantes: Por um lado, gestores, provenientes de áreas operacionais, que necessitam das capacidades de modelação e previsão dos SAD como complemento aos SIG que usavam anteriormente. Por outro lado, gestores e analistas, com prática no

uso dos SAD que se deparam com a necessidade de visualizar o seu negócio numa perspetiva espacial, para dessa forma poderem analisar e avaliar diferentes cenários de decisão (Freitas, 2009).

Figura 9- Cadeia de desenvolvimento dos SEAD. Fonte: (Freitas, 2009)



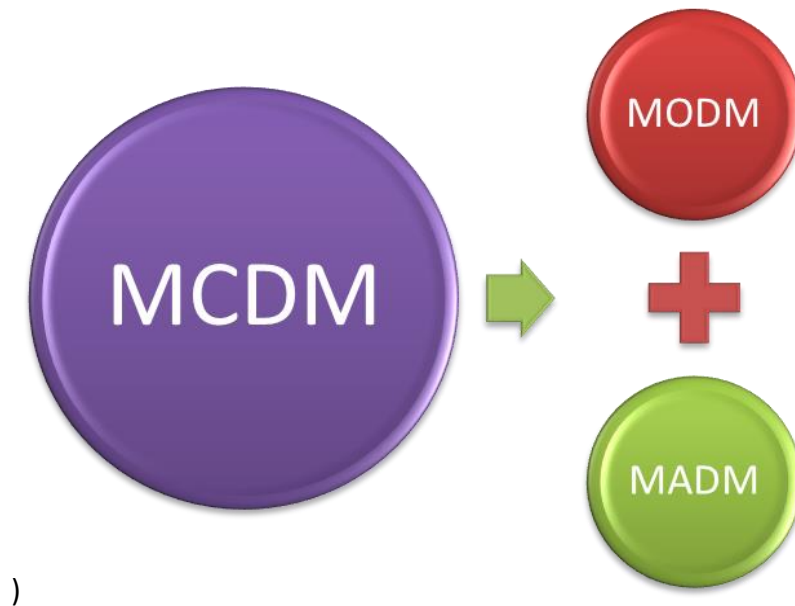
A Figura 9 relaciona o desenvolvimento dos SEAD com os SAD e os SIG, sistematizando os conteúdos das secções anteriores e proporcionando ao leitor uma perspetiva mais clara das relações entre os sistemas. A noção cronológica apresentada permite ainda reforçar a relação entre os contributos que o amadurecimento dos SAD e dos SIG trouxeram para a evolução dos SEAD. Na parte inferior da figura surge a evolução baseada nos SAD, com quatro estágios principais: a) Modelo Tradicional; b) Sistemas Baseados no Conhecimento; c) SAD baseados na Web; e d) SAD baseados em Serviços. Os três primeiros estágios foram já abordados neste capítulo, ao qual adicionamos um quarto estágio representativo de uma realidade mais atual. O quarto estágio apresenta os SAD baseados em Serviços refletindo o exposto por (Power, 2002), que sugere que os SAD estão ao mesmo tempo a tornar-se mais genéricos (presentes em novas áreas dentro das organizações) e ao mesmo tempo mais específicos (surgem

SAD por aplicações verticais nas organizações). Esta mudança leva os SAD a tornarem-se eminentemente baseados em serviços e classificados pela tecnologia que os sustenta (Sugumaran & Sugumaran, 2005). Os SEAD, pela sua forte ligação ao desenvolvimento dos SAD, herdaram esta mesma tendência baseando-se também em serviços. Como por exemplo, atualmente, apontamos a integração de serviços de informação de trânsito ou alterações de várias aplicações de apoio à navegação para a definição de rotas de transporte ou análise de acessibilidades a locais físicos (lojas, armazéns, hospitais, entre outros).

3.2 Análise Multicritério em Sistemas Geográficos

A escolha de parques de energias renováveis e a sua implementação é um processo de decisão multidimensional que envolve diversos atributos, tais como, de nível social, económico, técnico e do meio ambiente (Diakoulaki & Karangelis, 2007). Para além disto, a existência de diferentes perspetivas e diferentes soluções torna ainda mais complexo o processo de tomada de decisão. Por estas razões, no processo de tomada de decisão deve ser efetuada uma análise multicritério. Só assim será possível realizar uma análise com base em todas as diferentes alternativas envolvidas no processo de tomada de decisão e estabelecer uma relação entre os diferentes atributos e fatores que a influenciam. Através da utilização desta ferramenta de auxílio, métodos técnico-científicos, conseguimos garantir que são tomadas as escolhas certas no domínio das energias renováveis (Foell, 1985). Contudo, nem sempre “a” melhor opção provindo do uso de métodos de múltiplos critérios de tomada de decisão (MCDM) seria aquela que for melhor negociada, e não necessariamente a solução ótima. Segundo (Pohekar et al., 2004), a análise multicritério (MCDM) é um aglomerado de operações de pesquisa de modelos e é uma área bem conhecida dos sistemas de informação. Estes métodos permitem processar múltiplos critérios, quer em número, quer com diferentes medidas, de forma a analisar os conflitos entre os diversos fundamentos existentes e assim escolher a melhor opção. Contudo, existem muitos métodos e diversas maneiras de os classificar e agrupar, mas nesta dissertação, vamos optar por dividi-los em duas categorias, como na Figura 10:

Figura 10 - Divisão de MCDM. Baseado em (Clímaco, 1997)



Na análise multiobjectivos (MODM), o problema de decisão é caracterizado pela existência de vários objetivos que concorrem para atingirem uma otimização dos mesmos. Contudo, este tem de ter em consideração as restrições impostas para desenvolver uma solução viável (Diakaki, et al., 2010). Já na segunda categoria, a análise multiatributos (MADM), é feita uma avaliação de diferentes alternativas tendo em conta diversos fatores e critérios afim de ser escolhida a alternativa que demonstrar melhores resultados. A MADM é um dos métodos MCDM mais escolhido pelos utilizadores para resolverem problemas associados a perspetivas divergentes (Y.-M. Wang, 2010). Os dois grupos de análise contêm um indeterminado número de métodos dos quais se destacam os seguintes (Cristóbal, 2011; Chauhan, et al., 2014; Zavadskas, et al., 2014):

1. *Analytic hierarchy process (AHP)*;
2. *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)*;
3. *ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE)*;
4. *Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)*.

De acordo com Pohekar, et al. (2004), os MAUT eram os métodos MCDM mais utilizados no planeamento energético, entre AHP, PROMETHEE, ELECTRE, MAUT, sistemas *fuzzy* e sistemas de suporte à decisão (DSS).

Uma breve descrição dos métodos MADM mais utilizados será feita de seguida:

Analytic Hierarchy Process (AHP): Este foi, primeiramente, apresentado por (Saaty, 2008), que o descreveu como sendo um método que trata os problemas hierarquicamente, sendo que, no topo encontra-se o objetivo, nos níveis intermédios os critérios e restrições e na base as alternativas. Neste processo, o input de especialistas é considerado como ponto de comparação e a melhor alternativa é a que tiver melhor classificação entre todas.

Analytic Network Process (ANP): As metodologias ANP são a forma genérica do AHP e fora igualmente exposto por Saaty (1996). Porém, são evidentes algumas diferenças entre estas duas metodologias. Quanto aos métodos AHP, estes apesar de serem unidirecionais, fáceis de usar e aplicar nos problemas do quotidiano, não conseguem tratar problemas de maior complexidade. Já, os métodos ANP, respondem a esta limitação através da criação de uma rede de relações complexa entre as alternativas e critérios, todos interligados entre si (Cheng, et al., 2005).

Preference ranking organization method for enrichment evaluation (PROMETHEE): Este é um método caracterizado pela sua maior simplicidade a nível funcional, sendo que este utiliza os princípios de *outranking* para categorizar hierarquicamente as alternativas e efetuar comparações uma a uma por forma a ordenar de acordo com um certo número de critérios. Existem já dois membros desta estrutura, PROMETHEE I & II. (Oberschmidt, et al., 2010)

The elimination and choice translating reality (ELECTRE): Este método tem capacidade para tratar critérios com variáveis discretas de várias quantidades e grandezas e de fornecer um ordenamento total das alternativas. A sua análise é focada na relação predominante entre alternativas, sendo que, tal como a anterior, usa princípios de *outranking* e compara uma a uma. Todavia esta é baseada nos quadros superiores de relações e nas noções de exploração de concordância (J. Wang, 2009). Já são quatro as subestruturas desta família ELECTRE I, II, III, IV.

The technique for order preference by similarity to ideal solutions (TOPSIS): O conceito básico deste método consiste na escolha de uma alternativa ideal, ou seja, a que tem melhor valor para todos os critérios, e posteriormente analisar as outras alternativas usando a alternativa escolhida (J. Wang, 2009). Por exemplo, escolher a menor distância entre a alternativa ideal, por forma a suprimir trânsito e acidentes.

Multi-attribute utility theory (MAUT): Como foi dito anteriormente, este é o método mais utilizado em MCDM. A teoria tem em conta a preferência do utilizador, como ferramenta, que define sobre um conjunto de alternativas, em que o peso de cada critério não precisa de ser linear para todas as alternativas (Wang, M., et al., 2010)).

No geral os métodos MCDM têm quatro passos que suportam uma decisão mais eficiente e racional (Pohekar, et al., 2004), que são os seguintes:

1. Uma estrutura do processo de decisão, seleção da alternativa e formulação de critérios;
2. Mostra o balanço entre critérios e determina pesos aos critérios;
3. Aplica julgamentos de valor sobre compromissos aceitáveis e avalia;
4. Calcula o aglomerado final e toma uma decisão.

Resumindo, a análise multicritério é aproveitada para a escolha da solução mais adequada de um leque de opções distintas e com multiatributos (Greening LA, Bernow S, 2004), e existem diversas discussões na literatura, quanto ao melhor método MCDM, e quanto ao método certo para cada área e a sua aplicabilidade a situações reais.

Contudo, muitas vezes, é difícil obter resultados numéricos exatos para os critérios (Cai YP et al, 2009; Li YF et al, 2010), uma vez que, alguns parâmetros não podem ser avaliados com precisão, os dados podem ser critérios subjetivos e diferentes e os seus pesos são normalmente expressos em termos linguísticos pelos decisores (Kahraman C, Kaya I, 2010). Com o intuito de superar esta incerteza no julgamento humano, a lógica *fuzzy* pode ser aplicada, sendo esta capaz de avaliar termos linguísticos, números difusos e valores numéricos precisos. A Teoria dos conjuntos difusos (*Fuzzy*) é integrada num MCDM para ultrapassar a ambiguidade das preferências, sendo que, trabalha com informação vaga e aplica funções de associação. Na literatura, diferentes estudos usam a análise difusa para planeamento energético e políticas energéticas (Beccali M et al, 1998; Borges AR, Antunes CH, 2003; Lee SK et al, 2008; Siskos J, Hubert P, 1983; Kahraman C et al, 2009; Kaya T, Kahraman C, 2010; Ben Salah C et al, 2008; Cavallaro F, 2010; Mohanty RP et al, 2005). Kahraman e Kaya (2010). Esta metodologia proposta, foi aplicada ao caso da Turquia, para determinar a política de energia do país, onde encontrou a melhor solução disponível (Kahraman C, Kaya I, 2010).

Capítulo 4

Validação e Implementação do Modelo

4.1 Avaliação e Validação do Modelo

4.2 Implementação teórica do modelo

4. Validação e Implementação do Modelo

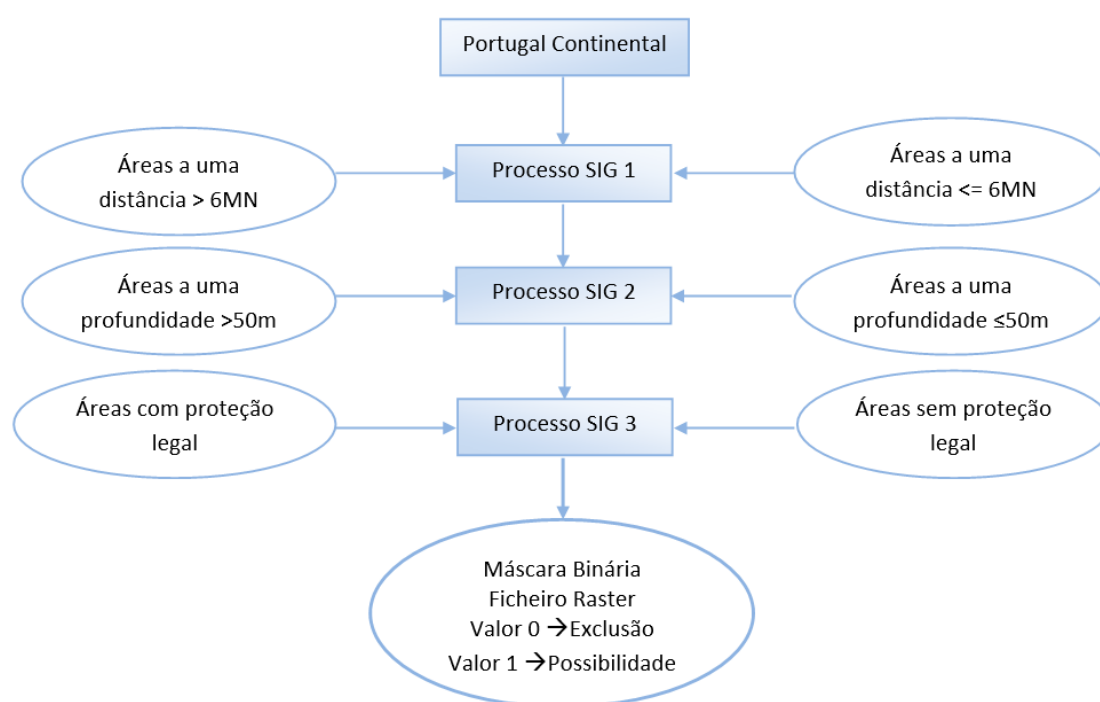
4.1 Avaliação e Validação do Modelo

Para a realização deste trabalho, foi decidido que se devia implementar um projeto que já tivesse sido validado e que pudesse ser aplicado à nossa realidade. Logo, para evitar erros, falhas de procedimentos ou lacunas de dados, foi adotado um modelo, já previsto por outros autores, aplicados a outras realidades. A escolha desse modelo, como guia para ajudar na concretização deste projeto, teve em conta vários fatores, tais como, atualidade e a semelhança do objeto de estudo. Portanto, a escolha da melhor localização das plataformas eólicas nesta tese de mestrado teve como base o trabalho do Sr. Afrokomi-Afroula Stefanakou e do Dr. Nikitas Nikitakos, que foi publicado a outubro de 2016 em Atenas no decorrer da *9th International Scientific Conference on Energy and Climate Change*, e este modelo é aplicado ao caso da Grécia, que, tal como Portugal, faz parte da União Europeia. O trabalho de Stefanakou tem como título, “*A decision support model for site selection of offshore wind farms*”. Este trabalho tem como finalidade provar a fiabilidade e a robustez da análise multicritério como uma ferramenta importante para a tomada de decisão dos gestores que trabalhem nesta área. Os gestores e os investigadores podem basear-se neste processo metodológico para determinar os locais para possível instalação de parques eólicos *offshore* ou como guia para os seus trabalhos.

Ele trata desta temática em duas fases:

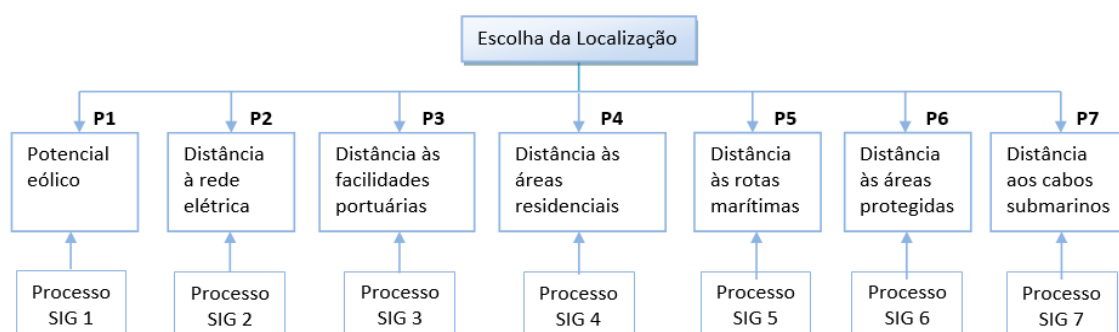
1. A primeira é, basicamente, a criação de uma máscara binária onde é excluído tudo o que impeça a colocação de parques eólicos, tais como a profundidade, a distância à costa e zonas protegidas na legislação (Figura 11). Esse processo ocorre através da sobreposição Booleana, onde as áreas que forem excluídas por cada variável têm o valor zero e as áreas onde podem ser implementados os parques eólicos tem o valor 1. Portanto, são criadas, assim, três *layers* que ao serem combinadas, dão origem à máscara onde só os pontos com o valor 1 em todas as camadas terão valores não nulos. Então, estes pontos, estão de acordo com todas as limitações e são desta forma elegíveis para uma análise mais aprofundada;

Figura 11- 1ª fase do modelo Fonte: (Stefanakou, et al., 2016)



2. A segunda fase tem como ponto inicial a máscara no processamento de cada variável. São elas: o potencial eólico, e as distâncias à rede elétrica, às facilidades portuárias, às áreas residenciais, às rotas marítimas, às áreas protegidas e aos cabos submarinos. Cada uma destas variáveis foi processada individualmente, tendo como resultado sete mapas diferentes, com o intuito de, no final, serem analisados através do método AHP, anteriormente descrito, por forma a descobrir quais as melhores localizações para a implementação de plataformas eólicas *offshore* (Figura 12). Este método AHP foi o escolhido após ponderação, entre a complexidade dos diversos métodos e a fiabilidade dos seus resultados, já tendo sido validado pela sua utilização por Stefanakou e Nikitakos (2016).

Figura 12- 2ª fase do modelo (Stefanakou, et al., 2016)



4.2 Implementação teórica do modelo

Este capítulo especifica, para cada fase, os processos necessários a realizar, de forma teórica, às variáveis por forma a obter as melhores localizações para implementação de plataformas eólicas em Portugal. Vai seguir-se uma sequência lógica, começando na 1ª fase explicitando variável a variável, assim como o procedimento metodológico e o resultado esperado. De seguida, será tratada a 2ª fase, novamente, variável a variável, terminando com o processo de cálculo dos pesos correspondentes a cada variável, para a obtenção de uma matriz georreferenciada com vista a obter a resposta às questões de investigação. No final, será aplicado o método AHP às variáveis através de relações hierárquicas de importância relativa entre elas e explicado a escolha do processo de normalização adotado no tratamento destas variáveis.

4.2.1 1ª Fase

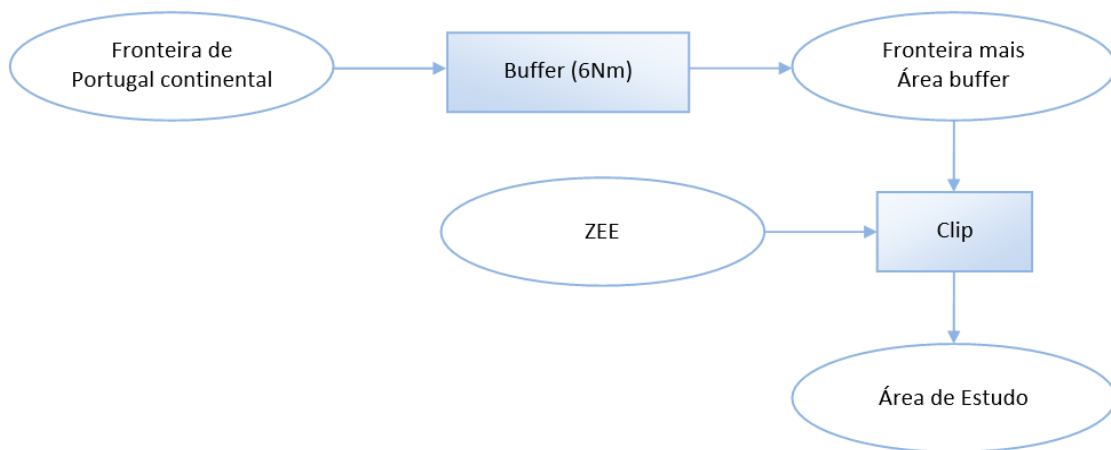
Esta fase é dividida em três processos SIG, como já havia sido dito no subcapítulo 3.3. O primeiro processo SIG inicia-se com a determinação da fronteira de Portugal continental, através dos dados retirados da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) utilizando a ferramenta *Dissolve* (Figura 13).

Figura 13- Processo SIG 1.1 Parte I



De seguida, utilizam-se esses dados e aplica-se a ferramenta *Buffer* com o valor de 6 Nm. Estes dados vão agora ser utilizados através da ferramenta *Clip* para recortar a ZEE de Portugal, obtendo assim a nossa área de estudo (Figura 14).

Figura 14- Processo SIG 1.1 Parte II



Ao mesmo tempo, é criada uma grelha irregular de pontos sobre a área de Portugal, através de programas em Matlab ou *Python*. Essa grelha pode ser calculada através do seguinte código em *Python* (Figura 15):

Figura 15- Exemplo de código *Python* para criação de grelha irregular

```

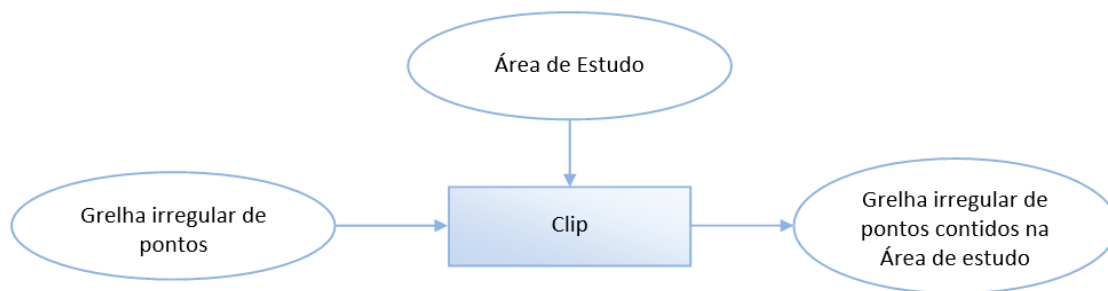
# Importa um módulo para gerar números aleatórios
import random as r
#define a coordenada vertical e horizontal mínima para a bounding box
xMin = -56000.0
yMin = 111814.6
#define a coordenada vertical e horizontal máxima para a bounding box
xMax = -42406.7
yMax = 243894.6
#define o espaçamento em X e Y
xDelta= 250.0
yDelta= 250.0

with open('result.txt','w') as f:

    # Ciclo While para calcular as novas coordenadas e obter uma grelha irregular
    x=xMin
    while (x <= xMax):
        y=yMin
        while (y <= yMax):
            stringOut =str(x)+";"+str(y)
            f.write ("%s\n" % stringOut)
            y=y+yDelta*r.random()
            x=x+xDelta*r.random()
  
```

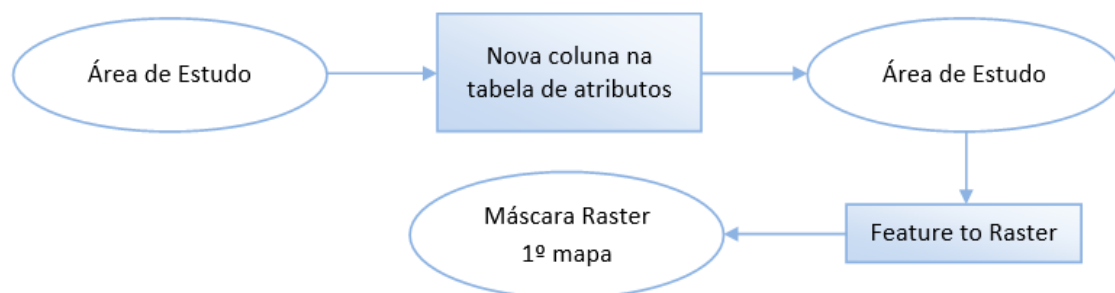
Possuindo a grelha de pontos e a área de estudo, avança-se para o próximo procedimento, onde utilizamos a ferramenta *Clip*, e obtemos uma grelha irregular de pontos contida na área de estudo (Figura 16). A camada proveniente é guardada, para uso posterior na 2ª fase do projeto, visto que vai haver necessidade de determinar distâncias a vários elementos geográficos.

Figura 16- Processo SIG 1.1 Parte III



De seguida, adiciona-se um novo atributo na tabela de atributos da área de estudo onde a área para dentro das 6 milhas náuticas de costa tem o valor 1 e a restante tem o valor zero. Logo depois, utiliza-se a ferramenta *Feature to Raster* (Figura 17), e

Figura 17- Processo SIG 1.1 Parte IV



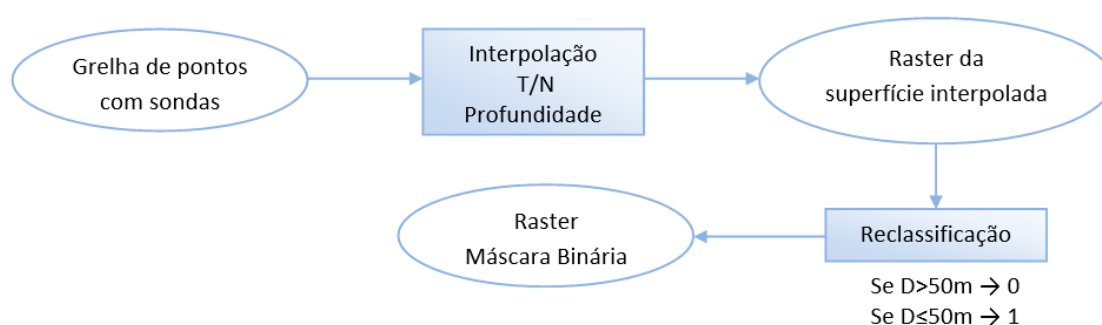
Obtém-se assim, o primeiro mapa a ser criado para a sobreposição Booleana, como pode ser observado uma exemplificação na Figura 18.

Figura 18- Exemplo de uma matriz binária

[illegible]

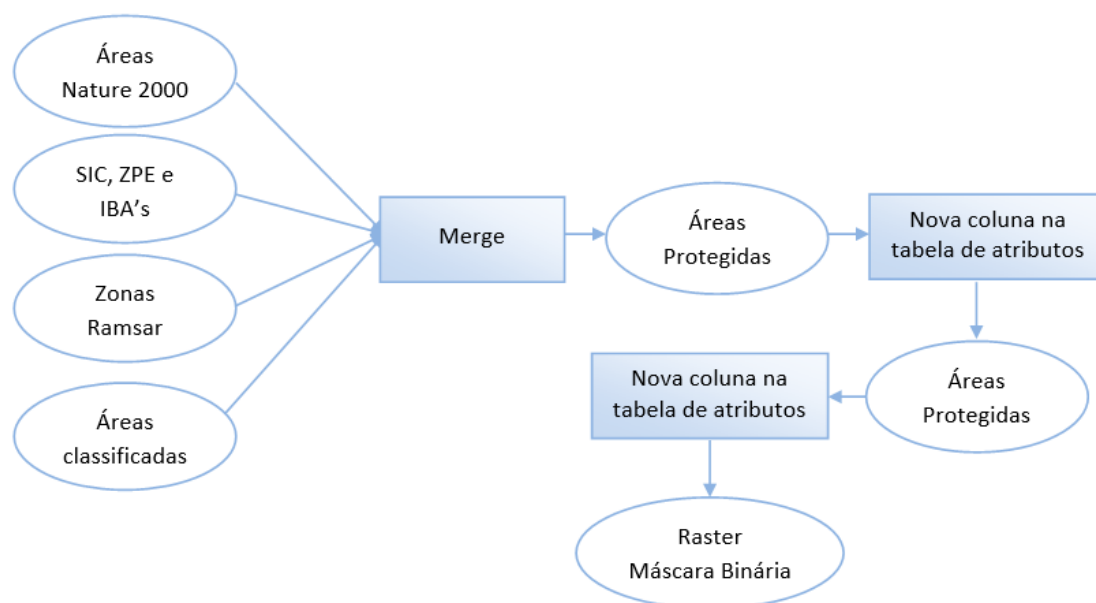
O segundo processo SIG, relativo à profundidade do fundo na ZEE portuguesa, começa com a interpolação de uma grelha de pontos com sondas, para a obtenção de um *raster* com a superfície interpolada. Prontamente, existe uma reclassificação das células da área com profundidade inferior ou igual a 50 metros, que obtém o valor 1, e as restantes células, correspondentes a uma sonda superior a 50 metros, ficam valorizadas a zero. Com este processo obtém-se o segundo mapa, em matriz binária (Figura 19).

Figura 19- Processo SIG 1.2



Para o último processo SIG desta 1ª fase, o objetivo é reunir o máximo de limitações à colocação de plataformas eólicas possível, tais como locais protegidos pela Comissão Europeia, Sítios de Importância Comunitária e da Lista Nacional (SIC), Zonas de Proteção Especial (ZPE), Sítios RAMSAR, As Áreas Importantes para as Aves e Biodiversidade (IBA's) e áreas classificadas, incluindo esquemas de separação de tráfego e zonas militares. Após a recolha dos dados, utiliza-se a ferramenta *Merge*, de forma a juntar todas as camadas numa só e, de seguida, atribui-se uma coluna com o valor zero a essas áreas e o valor 1 às áreas onde não existe qualquer impedimento. Posteriormente, utiliza-se a ferramenta *Feature to Raster* à camada das áreas protegidas e resulta o terceiro mapa, novamente uma matriz binária (Figura 20).

Figura 20- Processo SIG 1.3



Para finalizar a 1ª fase é necessário realizar o cálculo algébrico dos três ficheiros *raster*, onde nas distâncias inferiores à costa de 6 Nm, nas profundidades inferiores ou iguais a 50 m e nas zonas que não são protegidas têm o valor 1 e os restantes têm o valor zero. A combinação das três camadas é através do produto de Hadamard, onde as matrizes binárias são multiplicadas diretamente célula a célula, como esquematizado na Figura 21. A única grande limitação desta operação é que as matrizes são obrigadas a ter a mesma dimensão, ou seja o mesmo número de colunas e linhas (Million, 2007).

Figura 21- Exemplo de aplicação do produto de Hadamard

A=

n x m								
0	1	1	1	1	1	0	0	
0	1	1	1	1	1	0	1	
0	0	1	1	0	1	1	1	
1	0	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	0	0	0	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	

B=

n x m								
1	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	1	0	1

C= A o B

n x m								
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1

Neste exemplo, as matrizes são binárias, tal como no modelo adotado, mas o produto de Hadamard, pode ser aplicado a qualquer valor individual. Neste exemplo, conseguimos ver que com a multiplicação direta de cada célula da matriz A pelo correspondente na matriz B, só as células onde em ambas as matrizes tiverem o valor 1, este valor se mantém na matriz C.

4.2.2 2ª Fase

Esta fase engloba 7 processos individuais que, tal como na fase anterior, passa pelo cálculo final das camadas *raster* resultantes dos processos SIG. Após a obtenção dos mapas, é calculado a melhor localização para implementação de plataformas eólicas *offshore*, através da média ponderada aplicada a cada célula das matrizes, onde é usado o método AHP para obtenção dos pesos que cada variável tem. No final é discutido o processo de normalização utilizado nesta dissertação.

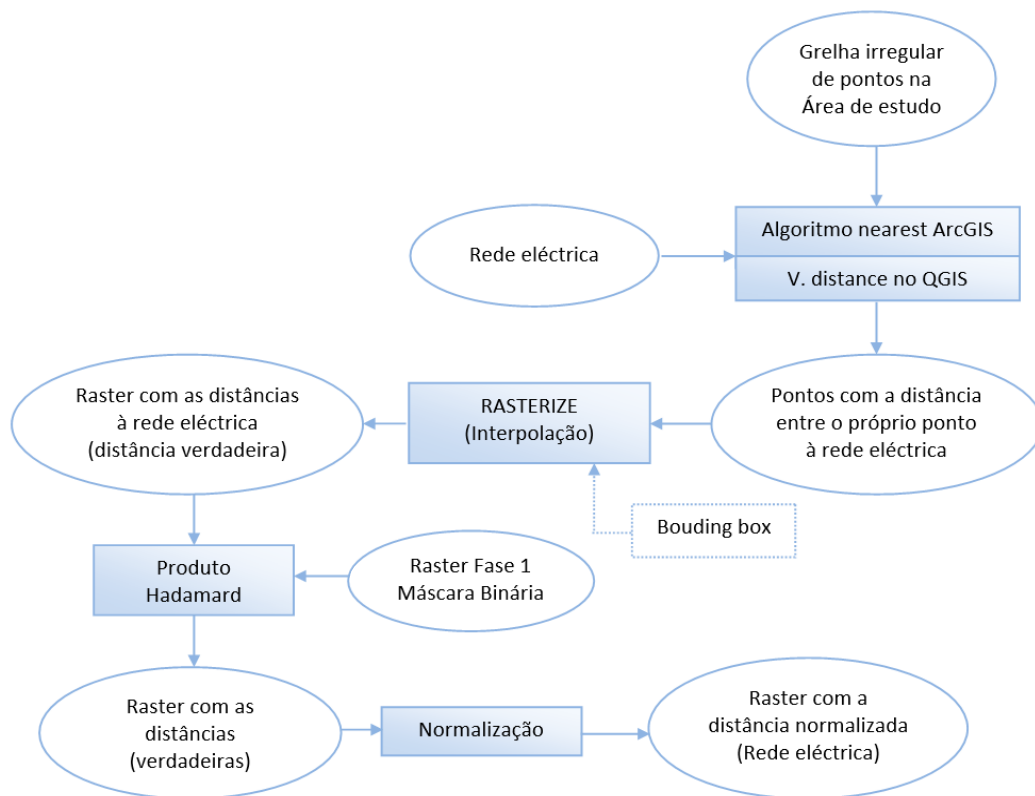
Começando pelo processo SIG 2.1, utilizado para o cálculo do Potencial eólico, este é dividido em duas partes: a primeira é um programa em Matlab ou *Python*, para obter o potencial eólico diretamente dos dados do vento decompostos nas componentes \vec{u} e \vec{v} . O programa inicialmente calcula o campo médio do vento através da soma vetorial entre as duas componentes em cada célula. Uma vez obtido o campo médio, calcula-se a norma desse vetor, para em cada célula ser aplicada a fórmula do Potencial eólico por área, e consegue-se, na área toda da ZEE portuguesa, os dados do potencial eólico. Estes dados podem ser calculados através do seguinte código em Matlab (Apêndice A).

A segunda parte deste processo é colocar os dados em ArcGIS, e utilizar-se a ferramenta *Clip* para os dados ficarem restringidos à Área de Estudo. Por último, os dados são normalizados, ficando com valores entre 0 e 1, onde o 1 é o máximo de Potencial eólico da Área de Estudo (Figura 22).

-

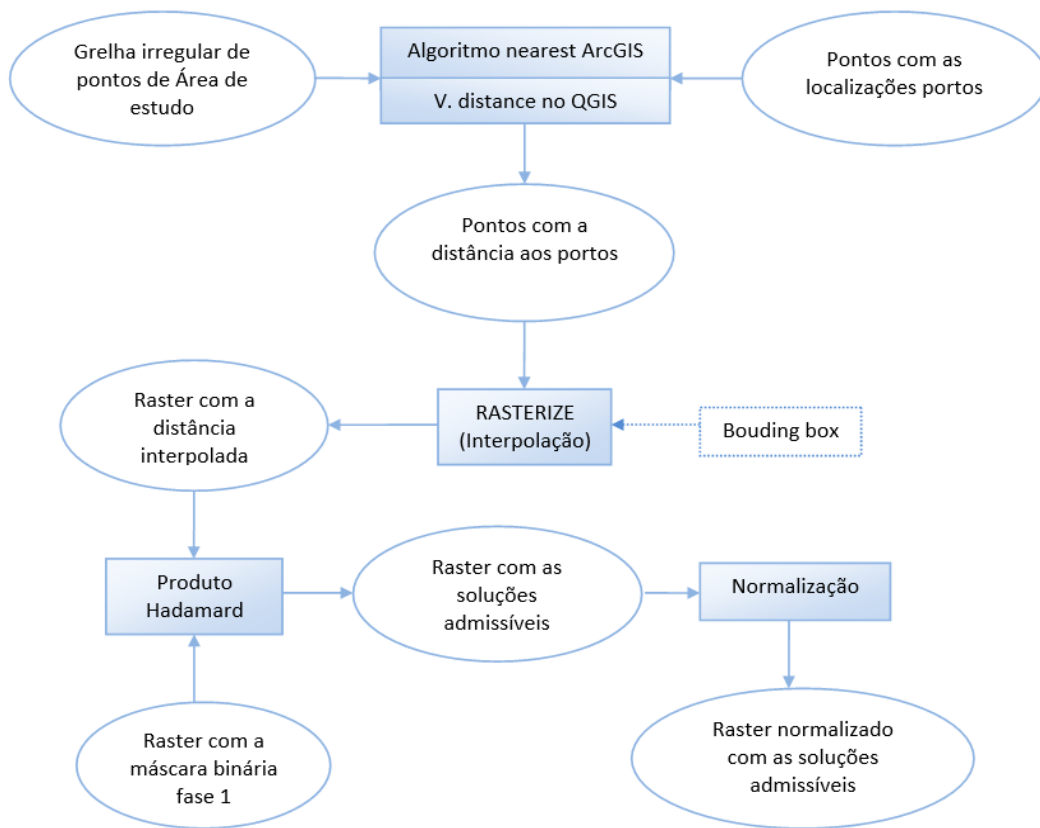
Para o processo SIG 2.2 utilizou-se a grelha irregular de pontos na área de estudo e aplicou-se a ferramenta *Near* à camada da rede elétrica, obtendo-se uma camada com pontos com a distância entre o próprio ponto à rede elétrica. Logo de seguida, utiliza-se a ferramenta *Feature to Raster*, resultando um mapa *raster* com as distâncias verdadeiras à rede elétrica. A este mapa junta-se o mapa final da fase 1, com a máscara binária, e aplica-se o produto de Hadamard, por forma a retirar só as áreas dentro da Máscara binária e com as distâncias à rede elétrica, para logo de seguida se normalizar e obtermos um *raster* onde na máscara binária se encontram os pontos com as distâncias normalizadas (Figura 23).

Figura 23- Processo SIG 2.2



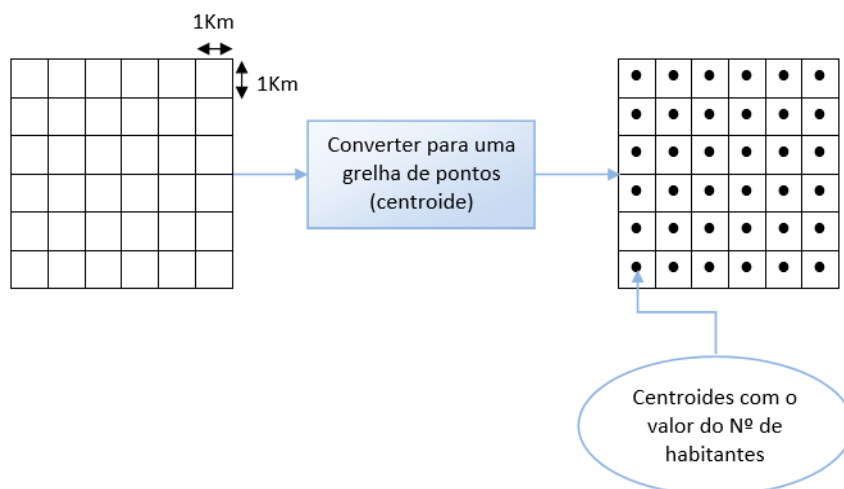
Para o processo SIG 3 utilizou-se a grelha irregular de pontos na área de estudo e os pontos com as localizações dos portos e aplicou-se a ferramenta *Near* obtendo-se uma camada com pontos com uma coluna com a distância aos portos. Logo de seguida, utiliza-se a ferramenta *Feature to Raster*, tendo sempre em conta a mesma *bounding box*, resultando um mapa *raster* com a distância interpolada. A este mapa junta-se o mapa *raster* com a máscara binária da fase 1, e aplica-se o produto de Hadamard resultando um mapa *raster* com as soluções admissíveis. Normaliza-se os valores das distâncias por forma a obter um *raster* normalizado com as soluções admissíveis (Figura 24).

Figura 24- Processo SIG 2.3



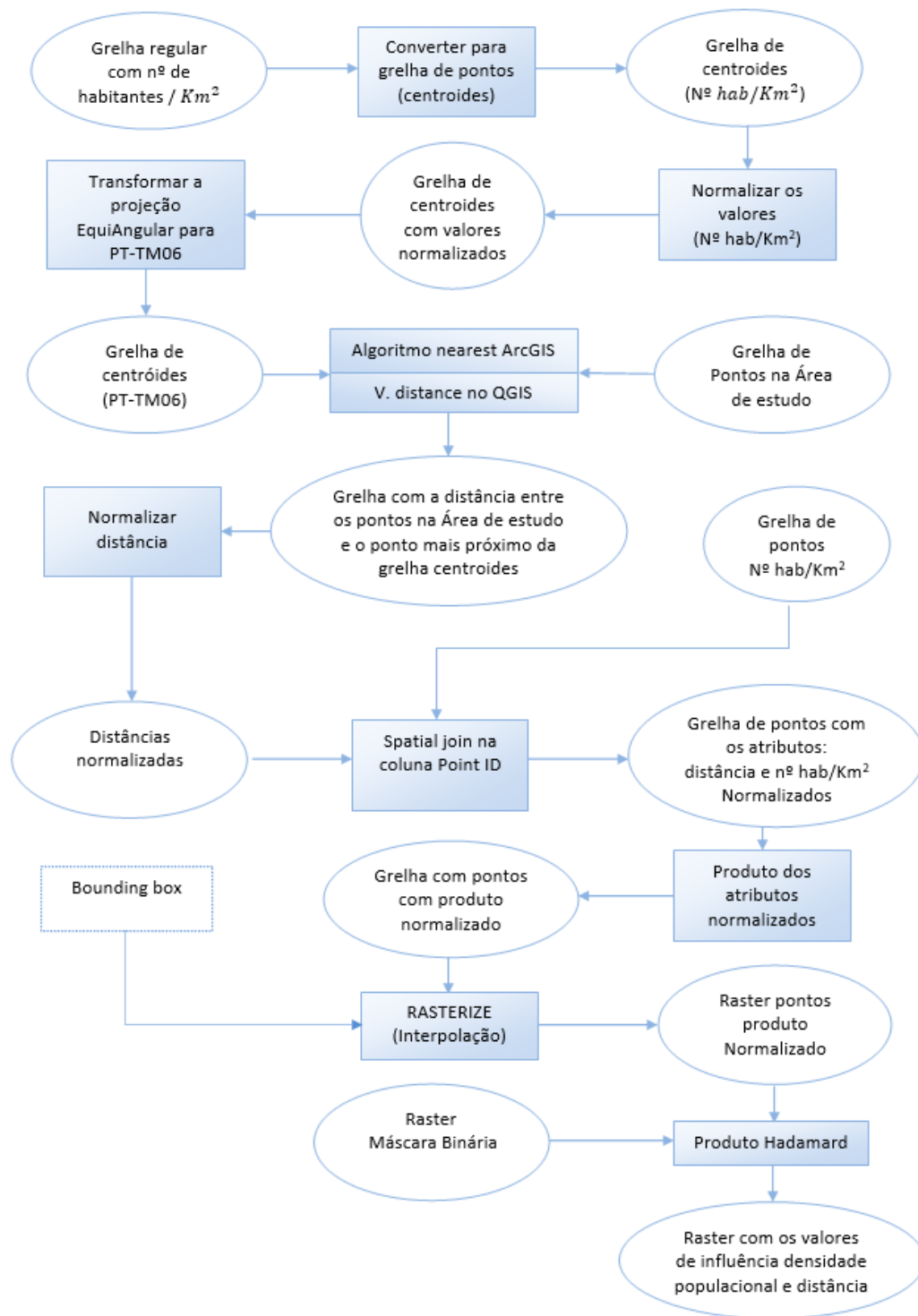
Para processar os dados referentes às áreas residenciais é necessário converter as áreas com o número de habitantes por km² em centroides com esse mesmo valor, como podemos ver na figura 25.

Figura 25- Exemplo de conversão de uma grelha em centroides



Para o processo SIG 2.4 utilizou-se a grelha regular com números de habitantes por km^2 e converteu-se para grelha de pontos (centroides). De seguida, normaliza-se os valores e obtém-se uma grelha de centroides com valores normalizados. Posteriormente, transforma-se a projeção EquiAngular para PT-TM06, resultando uma grelha de centroides normalizados georreferenciados em PT-TM06. Seguidamente, utiliza-se a ferramenta *Near* entre a grelha de centroides e a grelha de pontos na área de estudo, dando origem a uma grelha com a distância entre os pontos na área de estudo e o ponto mais próximo da grelha centroides. Dessa grelha, normaliza-se a distância e utiliza-se a ferramenta *Spatial join* na coluna *point ID*, que juntamente com a grelha de pontos com o número de habitantes por km^2 , obtém-se a grelha de pontos com os atributos: distância e número de habitantes por km^2 normalizados. Calcula-se o produto dos atributos normalizados e daí advém uma grelha com pontos normalizados. Através da ferramenta *Feature to Raster* e tendo sempre em conta a mesma *bounding box*, resulta um mapa *raster* com produtos normalizados. A este aplica-se o produto de Hadamard e junta-se o mapa *raster* com a máscara binária, resultando um *raster* com os valores de influência densidade populacional e distância (Figura 26).

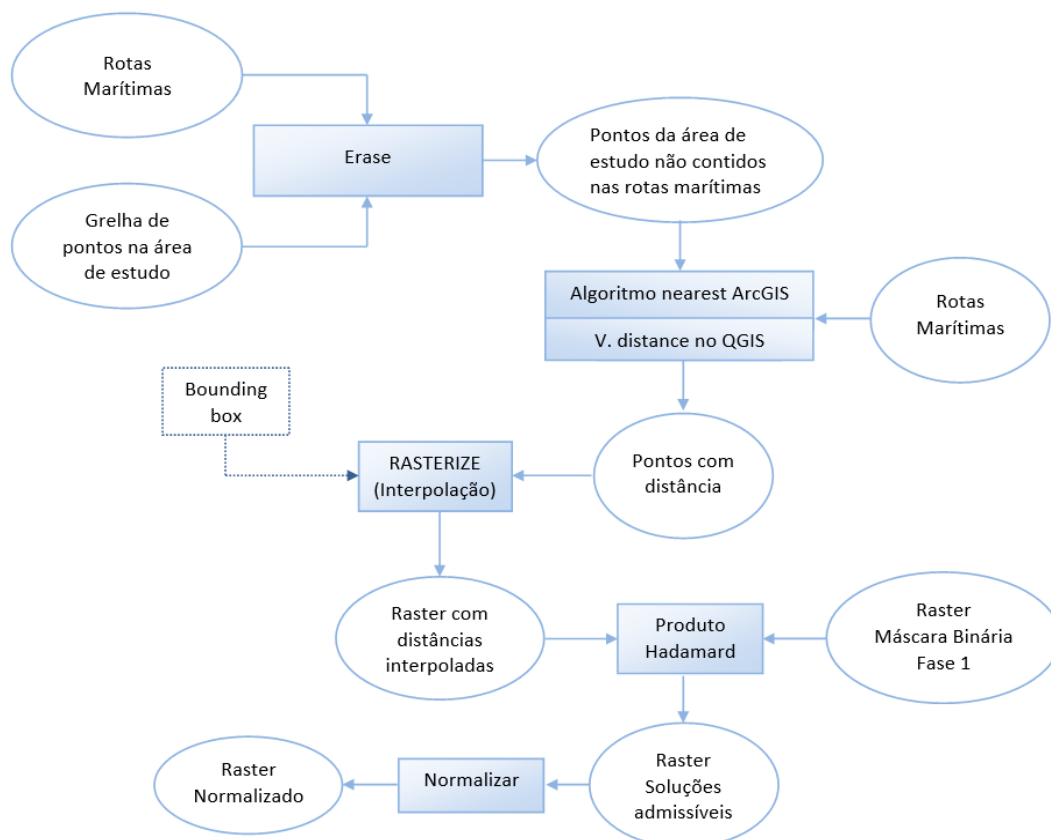
Figura 26- Processo SIG 2.4



Para o processo SIG 2.5 utilizou-se a grelha de pontos na área de estudo e as rotas marítimas e, através da ferramenta *Erase*, obteve-se um mapa de pontos da área de estudo não contidos nas rotas marítimas. Aplica-se a ferramenta *Near* às linhas das rotas marítimas, dando origem a uma grelha com a distância entre os pontos na área de

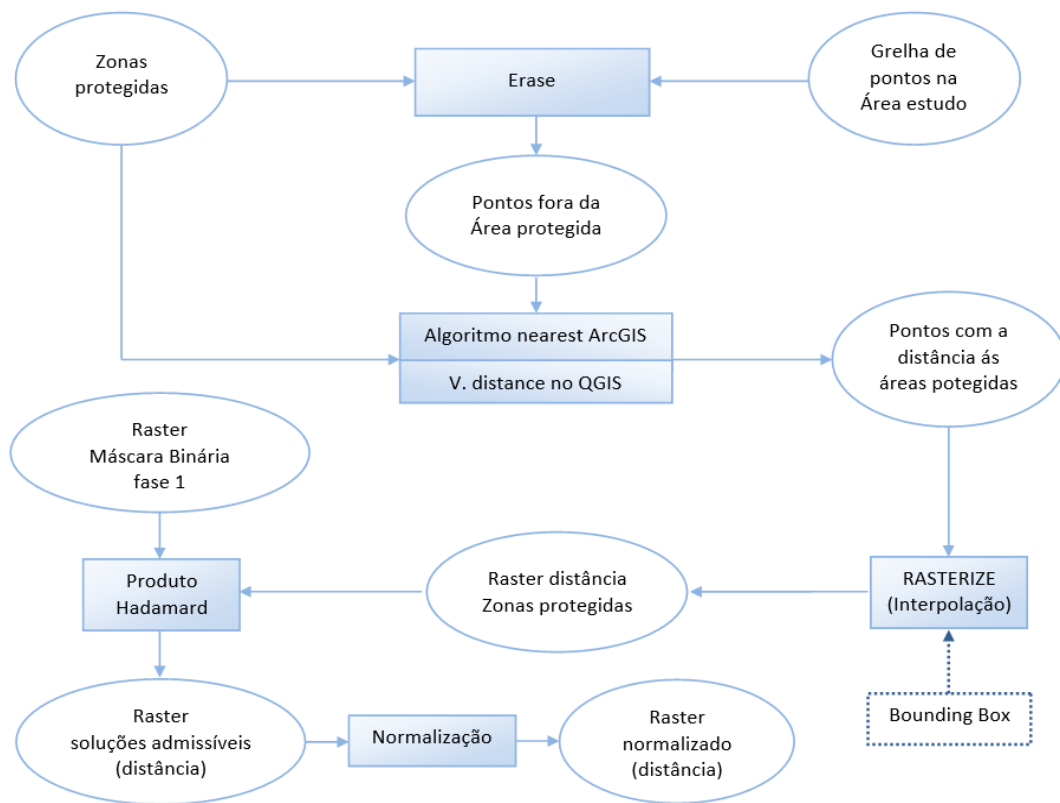
estudo. Através da ferramenta *Feature to Raster* e tendo sempre em conta a mesma *bounding box*, resulta um mapa *raster* com distância interpoladas. A este aplica-se o produto de Hadamard e junta-se o mapa *raster* com a máscara binária fase 1, resultando um *raster* com soluções admissíveis. Calcula-se o produto dos atributos normalizados e daí advém uma grelha com um *raster* normalizados (Figura 27).

Figura 27- Processo SIG 2.5



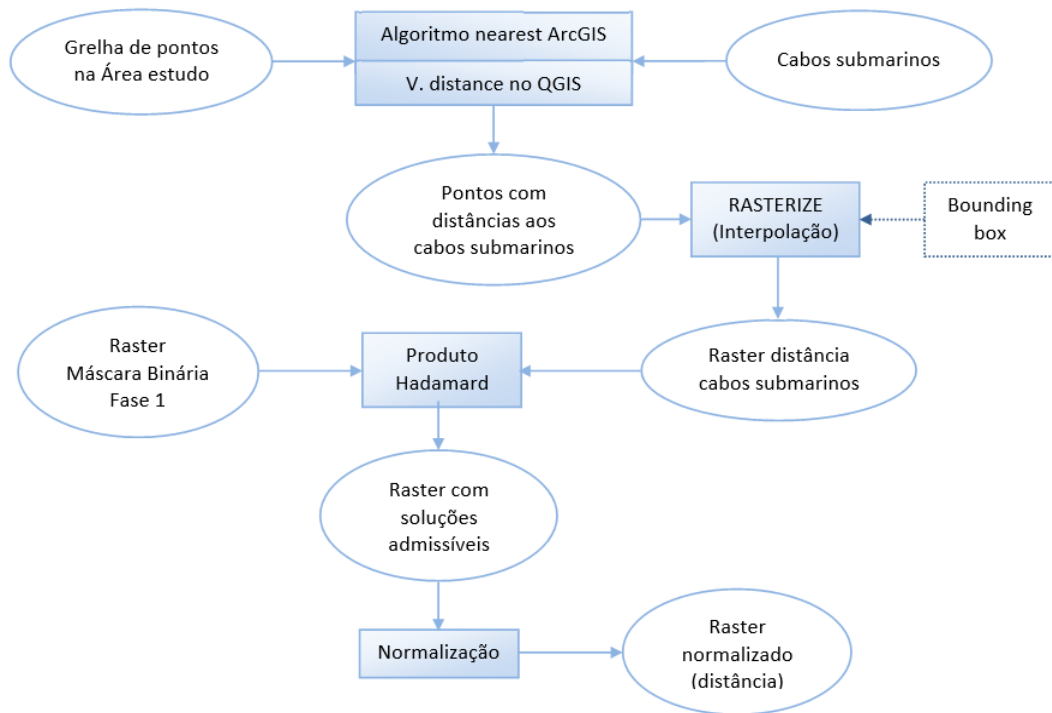
Para o processo SIG 2.6 utilizou-se a ferramenta *Erase* em zonas protegidas e em grelhas de pontos na área de estudo dando origem a pontos fora da área protegida. Aplica-se a ferramenta *Near* às zonas protegidas e aos pontos fora da área protegida resultando em pontos com a distância às áreas protegidas. Através da ferramenta *Feature to Raster* e tendo sempre em conta a mesma *bounding box*, obtemos um mapa *raster* com distância a zonas protegidas. A este aplica-se o produto de Hadamard e junta-se o mapa *raster* com a máscara binária fase 1, resultando um *raster* com soluções admissíveis. Calcula-se o produto dos atributos normalizados e daí advém uma grelha com um *raster* normalizados (Figura 28).

Figura 28- Processo SIG 2.6



Para o processo SIG 2.7 aplica-se a ferramenta *Near* à grelha de pontos na área de estudo e os cabos submarinos, dando origem aos pontos com a distância aos cabos submarinos. Através da ferramenta *Feature to Raster* e tendo sempre em conta a mesma *bounding box*, obtém-se o *raster* com a distância aos cabos submarinos. A este aplica-se o produto de Hadamard e junta-se o mapa *raster* com a máscara binária fase 1, resultando um *raster* com soluções admissíveis. Calcula-se o produto dos atributos normalizados e daí advém uma grelha com um *raster* normalizados (Figura 29).

Figura 29- Processo SIG 2.7



Para a normalização efetuada nas variáveis acima descritas, foi efetuada uma investigação ampla e abrangente, ex.: (Chakraborty, 2007; Malczewski, 1999). Com ela, chegou-se à conclusão que os processos de MADM, geralmente, requerem processos de normalização, por forma a transformar as diferentes unidades de medida dos atributos em uma unidade comparável. De acordo com Chakraborty (2007), para estes problemas MADM, os processos que obtêm uma melhor performance em termos de consistência, são os *vetor normalization* e o *linear scale transformation, max mehod*. Para Malczewski (1999), o processo *linear scale transformation, max mehod*, é bastante vantajoso, visto que é uma transformação proporcional (linear) dos dados, e o valor mais elevado toma sempre o valor 1. Portanto, tendo em conta estas referências, o processo de normalização escolhido foi *linear scale transformation, max mehod*, e foi aplicado como podemos verificar nas seguintes fórmulas.

Equação 1

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (1)$$

Ou

Equação 2

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (2)$$

Tendo em conta estas variáveis, foram construídos as Figuras 30 e 31, como representação as variáveis os seguintes:

Figura 30 – Gráfico Normalização - Fórmula 1

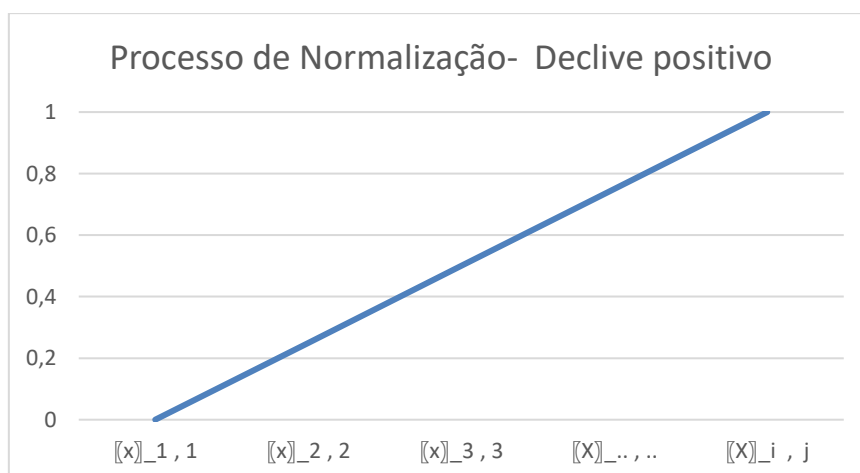
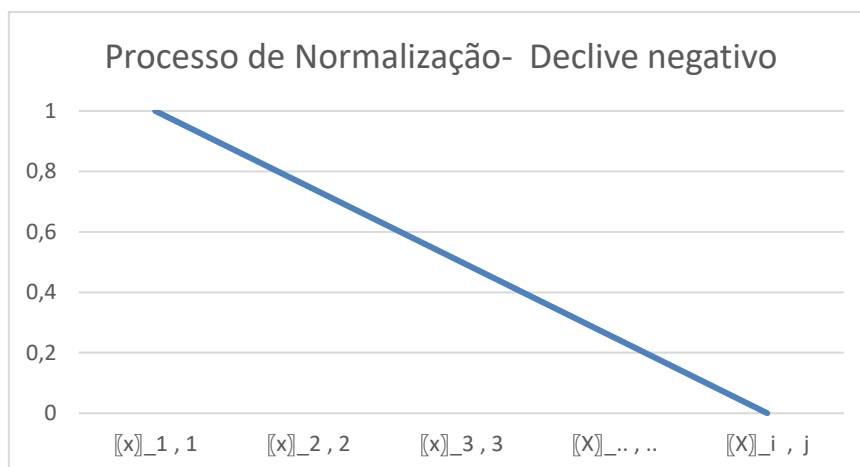


Figura 31- Gráfico Normalização - Fórmula 2



4.2.3 Método AHP

O Processo de cálculo final é o seguinte:

Equação 3

$$S = \sum_{i=1}^n \rho_i V_i, \quad \sum_{i=1}^n \rho_i = 1 \quad (3)$$

V_i = Variável i (corresponde a cada matriz normalizada de variável do modelo)

ρ_i = peso obtido pelo método AHP

Para a encontrar os pesos para a realização de uma média ponderada aplicada aos MCDM, aplicamos o método *Pairwise Comparison* desenvolvido por Saaty (1980), que foi criado especialmente no contexto do método AHP. Este método, como o próprio nome indica, tem origem numa hierarquia entre as variáveis e tem apenas três passos.

No **primeiro passo** cria uma matriz *ratio*, ao comparar variáveis duas-a-duas, aplicando uma escala com valores entre 1 e 9 entre elas como na Tabela 4 (Malczewski, 1999).

Tabela 4- Escala para *Pairwise Comparison*

Intensidade de Importância	Definição
1	Importância Igual
2	Importância Igual a Moderada
3	Importância Moderada
4	Importância Moderada a Forte
5	Importância Forte
6	Importância Forte a Muito Forte
7	Importância Muito Forte
8	Importância Muito Forte a Extrema
9	Importância Extrema

O **segundo passo** é composto pelas seguintes operações:

1. Soma das colunas;
2. Divisão de cada célula pelo total da coluna;
3. Média da linha.

O **terceiro passo** consiste na estimativa de consistência do *ratio*, e começa com as seguintes operações:

1. Multiplicar o peso da primeira variável com a primeira coluna do *Pairwise Comparison* original, Multiplicar o peso da segunda variável com a segunda coluna do *Pairwise Comparison*, até à sétima variável, neste caso, e no final somar a linha;
2. Determinar o vetor de consistência ao dividir o resultado anterior pelos pesos das variáveis.

Agora que foi calculado o vetor de consistência é necessário calcular o lambda (λ), que não é nada mais do que a média dos valores do vetor de consistência. De seguida calcula-se o Índice de consistência (CI), com $n = N^o$ de variáveis, através da fórmula:

Equação 4

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4)$$

Por último verifica-se se o *ratio* de consistência (CR) é inferior a 0.10, que significa que tem um nível razoável de consistência. O CR é calculado simplesmente ao dividir CI pelo *Random Index* (RI) que depende do número de variáveis a serem comparadas, como se pode ver na Tabela 5 (Saaty, 1980).

Tabela 5 - Índices de Inconsistência *Random*

n	RI	n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

Capítulo 5

Recolha e Tratamento de Dados

5.1 Recolha e inserção dos dados em ArcGIS

5.2 Aplicação e Validação do Modelo

5. Recolha e Tratamento de Dados

Neste capítulo são descritos os processos de recolha de dados, enunciando as fontes, os formatos de aquisição e os *softwares* utilizados para a manipulação dos dados. Também, serão apresentados os métodos de tratamento implícitos no modelo e por último, irá ser feita uma representação dos resultados parcelares, na aplicação do modelo, e imagens *raster*.

5.1 Recolha e inserção dos dados em ArcGIS

Para a realização deste projeto, são necessários vários conjuntos de dados, de diversas fontes para dar resposta às entradas solicitadas pelo modelo de Stefanakou e de Nikitakos. Para uma eventual replicação dos produtos deste projeto é importante manter um registo de diversos fatores, nomeadamente, a atualidade dos dados, Data, formatos dos ficheiros e entidade produtora, para que possa ser validada a metodologia científica presente nesta dissertação. Os dados foram divididos por fases e por variáveis correspondentes ao modelo proposto. Contudo, depois de inseridos em ArcGIS, todos os dados foram projetados no Sistema de projeção geográfica nacional, ETRS 1989 Portugal TM06.

Prosseguindo, para a 1ª fase são necessárias as seguintes variáveis:

Limites e águas territoriais;

Profundidade;

Áreas de Proteção ambiental.

A variável dos limites e águas territoriais é composta por dados de quatro fontes, e são elas: A *Marineregions.org*, de onde foram retirados os dados mais globais, para dar um enquadramento espacial. Estes dados estão separados em diversas categorias, nomeadamente os limites marítimos e os limites das ZEE, ambos de outubro de 2016, ou ainda as áreas marítimas da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) de janeiro de 2017, entre outras. Em cada categoria existem várias versões dos dados, pelo que para este projeto o autor escolheu sempre a versão mais recente. Das categorias presentes existiam também outras que completam a variável da proteção ambiental que

irão ser apresentadas posteriormente. Os dados retirados do Marineregions.org tiveram de ser requisitados individualmente através de um formulário, para aceitação do download. Todos os dados provenientes deste site vinham em formato .shp que é legível diretamente no ArcGIS, e georreferenciado ao Datum WGS_1984. O site da DGEG, onde foram retirados os dados, georreferenciados em WGS_84, relativos à Zona económica exclusiva do continente de junho de 2014 e áreas de reserva ou cativas de julho de 2015. Relativamente a estes dados, o formato do primeiro conjunto era compatível com o ArcGIS (.shp). Já os do segundo conjunto estava em formato de folha de cálculo (.xls), que embora não legível diretamente pelo ArcGIS, existe uma ferramenta, denominada *Add XY Data*, que transforma esses dados em camadas georreferenciadas. A fonte seguinte foi o site da Direção Geral do Território, de onde foram retirados os dados datados de 19 de julho de 2016, a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP). Estes dados são os concelhos e freguesias, que com apenas uma simples ferramenta de manipulação de *Data*, denominada *Dissolve*, se obtém o território completo de Portugal Continental. Os dados tinham o formato *shapefile* e vinham georreferenciados em WGS_84. Por último, o site do Instituto Hidrográfico, de onde perante a panóplia de dados gratuitos, foram retirados pelo autor as cartas eletrónicas de navegação de março de 2008 e a isobatimetria de Portugal continental numa escala de 1:150 000 de fevereiro de 2013, por forma a obter a linha de costa (batimétrica dos 0 metros). Estes dados, tais como a maior parte dos anteriores, também tinham o formato .shp e estavam referenciados com o Datum WGS_1984.

Tabela 6- Propriedades dos dados dos limites e águas territoriais

Limites e águas territoriais				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
Marineregions.org	Limites marítimos	outubro de 2016	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_1984
	Limites das ZEE			
	Áreas marítimas da organização hidrográfica internacional	janeiro de 2017		
Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG)	Zona económica exclusiva do continente	junho de 2014	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_84
Direção Geral do Território	Carta Administrativa Oficial de Portugal	julho de 2016	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_1984
Instituto Hidrográfico	cartas eletrónicas de navegação	março de 2008	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_1984
	isobatimetria de Portugal continental numa escala de 1:150000	fevereiro de 2013		

Os dados referentes à variável da proteção ambiental, foram provenientes de quatro fontes distintas também, a primeira do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) com dados, designadamente, sobre a cartografia das Áreas Classificadas, Sítios de Importância Comunitária e da Lista Nacional (SIC), Zonas de Proteção Especial (ZPE) da Rede Natura 2000, e Sítios Ramsar, no continente português. Estes dados foram elaborados em diferentes alturas, o primeiro conjunto de dados foi em novembro de 2016, o segundo e o terceiro em 2000 e o quarto teve a sua última atualização em janeiro de 2017. Desta fonte todos os dados se encontravam com o Datum WGS_84 e estavam em formato shapefile (.shp), compatíveis com o ArcGIS, exceto as Áreas Classificadas foram disponibilizados em formato (.kmz). Para ser utilizado no ArcGIS este tipo de formato teve de ser aberto *Google Earth* e guardado como ficheiro “.kml” e só depois através da ferramenta do ArcToolBox, contida nas *Conversion Tools*, na categoria *From KML*, chamada de *KML To Layer*. A segunda fonte foi a Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves (SPEA), com ficheiros de dados sobre as áreas importantes para as aves no continente, elaborados em junho de 2011,

georreferenciados em WGS_84 e disponibilizados em formato *shapefile*. A terceira fonte, já havia sido mencionada na variável dos limites e águas territoriais, o site da DGEG, onde foram retirados os dados relativos às áreas de reserva ou cativas de julho de 2015. Relativamente a estes dados, o formato do conjunto era de folha de cálculo (.xls), que embora não legível diretamente pelo ArcGIS, existe uma ferramenta, denominada *Add XY Data*, que transforma esses dados em camadas georreferenciadas no *Datum* WGS_84. E a *Marineregion.org*, cujos dados são o património mundial da humanidade de março de 2013. Todos os dados vieram em formato *shapefile* e georreferenciado ao *Datum* WGS_84.

Tabela 7- Propriedades dos dados da proteção ambiental

Proteção ambiental				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF)	cartografia das Áreas Classificadas	novembro de 2016	(.kmz).	Datum WGS_84
	Sítios de Importância Comunitária e da Lista Nacional (SIC),	2000	shapefile (.shp)	
	Zonas de Proteção Especial (ZPE) da Rede Natura 2000	2000		
	Sítios Ramsar	janeiro de 2017		
Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves (SPEA)	áreas importantes para as aves no continente	junho de 2011	shapefile (.shp)	WGS_84
Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG)	áreas de reserva ou cativas	julho de 2015	folha de cálculo (.xls)	WGS_84
Marineregion.org	património mundial da humanidade	março de 2013	shapefile (.shp)	WGS_84

Para a variável da profundidade, o único site de onde foram retirados dados, já mencionado na variável dos limites e águas territoriais, é o site do Instituto Hidrográfico, visto ser o serviço hidrográfico nacional que disponibiliza informação hidrográfica validada de acordo com as especificações e orientações da OHI. Os conjuntos de dados são o modelo batimétrico Continente com resolução espacial de 2 milhas de dezembro

de 2010 e a Batimetria GEBCO Atlântico Norte 2 milhas náuticas de janeiro de 2011, em formato *shapefile* e no *Datum* WGS_84.

Tabela 8 - Propriedades dos dados da Profundidade

Profundidade				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
Instituto Hidrográfico	Modelo batimétrico do Continente resolução 2 milhas	Dezembro de 2010	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_84
	Batimetria GEBCO Atlântico Norte resolução 2 milhas	janeiro de 2011		

O Potencial eólico, foi calculado através do campo médio de vento à superfície, onde se aplicou, para o cálculo do potencial, a seguinte fórmula, (Castro, 2005):

Equação 5

$$P_{disp} = \frac{1}{2} (\rho Au) u^2 = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad (5)$$

Nesta fórmula, a energia disponível para uma turbina eólica é a energia cinética associada a uma coluna de ar que se desloca a uma velocidade uniforme e constante u (m/s). Na unidade de tempo, aquela coluna de ar, ao atravessar a secção plana transversal A (m²) do rotor da turbina, desloca uma massa ρAu (kg/s), em que ρ é a massa específica do ar, à temperatura de 15°C ($\rho = 1,225$ kg/m³). Contudo, é usual cientificamente, para demonstrações de resultados (ex.: Atlas Europeu do Vento), que o Potencial eólico seja referido como W/m², dando a potência por unidade de área, para que seja conversível para todo o tipo de aerogerador, sabendo a sua área transversal. Portanto o cálculo do potencial eólico é reduzido à seguinte expressão:

Equação 6

$$P_{disp/m^2} = \frac{1}{2} \rho u^3 \quad (6)$$

Para o campo médio de vento à superfície os dados tiveram como base o Modelo ECMWF aplicado à ZEE portuguesa com um período compreendido entre 1 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2016, onde para cada dia tem as análises das horas sinóticas (0001Z, 0600Z, 1200Z, 1800Z).

Tabela 9 - Propriedades dos dados do Potencial Eólico

Potencial eólico				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
Modelo ECMWF	Vento na ZEE portuguesa Componentes \vec{V} e \vec{U}	De 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2016	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_84

A variável seguinte é composta pelas redes elétricas, e para a sua composição não foi disponibilizado qualquer tipo de ficheiro em nenhum formato, contudo o autor aproveitou um ficheiro .jpeg do Instituto de Engenharia Mecânica e Tecnologia Industrial (INETI) que o autor georreferenciou com Portugal continental e criou uma camada do tipo linha, onde sobrepôs as linhas elétricas de 60, 150, 220 e 400 KVA, manualmente.

Tabela 10 - Propriedades dos dados da Rede Elétrica

Rede Elétrica				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
Instituto de Engenharia Mecânica e Tecnologia Industrial (INETI)	Rede elétrica	fevereiro de 2009	(.jpeg)	WGS_84

Em relação à variável dos Portos a fonte utilizada foi a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) que deu acesso a um ficheiro com o formato .shp elaborado em dezembro de 2015 com o índice dos portos principais globais e referenciado com o Datum WGS_1984.

Tabela 11 - Propriedades dos dados dos Portos

Portos				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i> (NGA)	<i>World Ports Index</i> (WPI)	dezembro de 2015	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_84

A variável das áreas residenciais, foi retirada exclusivamente do site do *Geofabrik* que faz parte do grupo *OpenStreetMap Foundation*, onde os dados vinham em formato *shapefile* com inúmeras categorias, tendo sido retiradas unicamente as áreas residenciais. Estes dados tinham a particularidade de serem de agosto de 2017 e georreferenciadas em WGS_84.

Tabela 12 - Propriedades dos dados das Áreas Residenciais

Áreas residenciais				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
<i>Geofabrik</i>	Áreas residenciais	agosto de 2017	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_84

Os dados referentes às rotas marítimas, que foram disponibilizados, em alternativa aos dados AIS e aos dados MONICAP,

Tabela 13 - Propriedades dos dados das Rotas Marítimas

Rotas marítimas				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
Instituto Hidrográfico	Esquemas de Separação de Tráfego (EST)	julho de 2015	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_84

Relativamente à variável dos cabos submarinos, a fonte utilizada foi, novamente, o Instituto Hidrográfico, onde se retirou um ficheiro com o formato *shapefile*, de março de 2008, referenciado em WGS_84, que continha diversos dados, nomeadamente, os cabos submarinos e os locais de ligação à costa, entre outros.

Tabela 14 - Propriedades dos dados dos Cabos Submarinos

Cabos submarinos				
Sites	Dados	Data	Formato	Datum
Instituto Hidrográfico	Cabos submarinos	março de 2008	<i>shapefile</i> (.shp)	WGS_84

5.2 Aplicação e validação do modelo

Neste subcapítulo, serão apresentadas as alterações mais importantes ao modelo, por forma a explicitar, de que forma os dados se transformaram em informação útil, possível de ser trabalhada, incluindo mapas que representam as diversas fases do projeto, desde as variáveis aos resultados obtidos após a aplicação dos processos SIG apresentados no capítulo 4. Contudo os mapas das variáveis, compostas pelos dados anteriormente mencionados, vão só demonstrar os dados, inseridos em ArcGIS, mais importantes para a elaboração dos processos.

5.2.1 1ª Fase

Começando pelo processo SIG 1.1, os dados da variável Limites e águas territoriais (Apêndice B), foram utilizados para criar a fronteira de Portugal Continental e, através de duas ferramentas de análise, obter uma área confinada aos limites da nossa jurisdição marítima, a linha de costa e uma linha imaginária a 6Nm, como tinha sido apresentada nos critérios de admissibilidade para implementação de plataformas eólicas *offshore*. Posteriormente, para a construção de uma imagem *raster* (Apêndice K), foi adicionada uma coluna à sua tabela de atributos com o valor 1, para ser utilizado como referência à sua adequação aos critérios de admissibilidade.

Em relação à grelha irregular de pontos, ela foi produzida neste processo, mas só foi utilizada na 2ª Fase para auxiliar o cálculo das distâncias a todas as variáveis desta fase, à exceção do Potencial eólico (Figura 29). Contudo, para a produção da grelha irregular de pontos, a área teve de ser aumentada e descentralizada de Portugal com vista a obter a maior área de interesse com o menor número de pontos possível, mas mantendo uma boa descrição, e de forma a abranger o maior número de dados relevantes na 2ª fase.

No processo SIG 1.2, os dados recolhidos da variável Profundidade (Apêndice C) permitiram saltar alguns pontos neste processo, embora tenham exigido outros, mas concebendo ao processo maior rapidez e precisão. Isto porque, através dos dados do IH, consegue-se obter a linha batimétrica dos 50 metros, que apenas, com a sobreposição da ZEE de Portugal, se obteve uma área confinada aos limites da nossa área de jurisdição portuguesa, a linha de costa e uma linha imaginária sobre a batimétrica dos 50 metros de profundidade. De seguida, procedeu-se como o processo SIG 1.1, criou-se uma nova coluna da tabela de atributos com o valor 1 dentro da área criada, tendo em conta os critérios de admissibilidade, o que permitiu assim a construção da imagem *raster* (Apêndice L).

O processo SIG 1.3, decorreu como apresentado no capítulo 4, tendo os dados recolhidos da variável Áreas Protegidas sido todos utilizados, para produzir o maior número de impossibilidades de uso da área em estudo (Apêndice D). A única diferença em relação aos processos anteriores, à exceção dos dados iniciais, é na criação da nova coluna da tabela de atributos, onde o valor das áreas encontradas é 0, de acordo com os critérios de admissibilidade, pois esses são os locais onde não se podem implementar plataformas eólicas *offshore*. Tendo isto, foi possível gerar a imagem *raster* (Apêndice M).

Para finalizar a 1ª fase, tinha de se obter o método algébrico, denominado, produto de Hadamard, que, em ArcGIS, é relativamente simples, através da ferramenta *Raster Calculator*, onde devido às colunas criadas ao longo dos processos SIG, basta multiplicar

os *rasters* uns pelos outros. O resultado desta multiplicação vai ser uma área que, de acordo com os critérios de adequabilidade, representa os únicos sítios na nossa costa onde é possível a implementação de plataformas eólicas (Apêndice N).

5.2.2 2ª Fase

Os processos SIG da 2ª Fase decorreram na sua maioria praticamente como apresentado no capítulo anterior tendo sido introduzido uma única alteração que consistiu em calcular a distância Euclidiana à *Bonding Box* em vez de calcular a distância ao ponto mais próximo da grelha irregular, conseguindo-se assim acelerar significativamente todo o processo de cálculo. Isto aconteceu nos processos SIG 2.2, Distância à Rede Elétrica (Apêndices F e P; SIG 2.3, Distância às Facilidades Portuárias (Apêndices G e Q); SIG 2.6, Distância às Áreas Protegidas (Apêndices D e T) e SIG 2.7, Distância aos Cabos Submarinos (Apêndices J e U).

Nos restantes processos:

SIG 2.1, Potencial Eólico, decorreu exatamente como descrito no Capítulo 4, sem alterações (Apêndices A, E e O);

SIG 2.4, Distância às Áreas Residenciais, houve uma alteração que consistiu na simplificação do processo através da utilização direta de uma grelha de centroides com o número de habitantes por metro quadrado (Apêndices H e R);

SIG 2.5, Distância às Rotas Marítimas, optou-se por utilizar diretamente as áreas correspondentes às linhas de separação de tráfego marítimo estabelecidas na lei, no intuito igualmente de simplificar o processo evitando o congestionamento de dados que aconteceria se fossem utilizados dados AIS ou MONICAP (Apêndices I e S).

Para concluir o projeto foi usada uma média ponderada, conforme apresentado em cima, e os seus pesos foram calculados da seguinte forma:

Tabela 15- 1º Passo do cálculo dos pesos

Critérios	Potencial eólico	Rotas Marítimas	Cabos Submarinos	Rede Elétrica	Facilidades Portuárias	Áreas Residenciais	Áreas protegida
Potencial eólico	1	3	3	5	5	7	9
Rotas Marítimas	$\frac{1}{3}$	1	1	3	3	5	7
Cabos Submarinos	$\frac{1}{3}$	1	1	3	3	5	7
Rede Elétrica	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	1	3	5
Facilidades Portuárias	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	1	3	5
Áreas Residenciais	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	3
Áreas protegida	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	1

Tabela 16- 2º Passo - 1ª parte

Critérios	Potencial eólico	Rotas Marítimas	Cabos Submarinos	Rede Elétrica	Facilidades Portuárias	Áreas Residenciais	Áreas protegida
Potencial eólico	0.430	0.500	0.500	0.368	0.368	0.289	0.244
Rotas Marítimas	0.144	0.166	0.166	0.222	0.222	0.205	0.189
Cabos Submarinos	0.144	0.166	0.166	0.222	0.222	0.205	0.189
Rede Elétrica	0.086	0.055	0.055	0.074	0.074	0.123	0.135
Facilidades Portuárias	0.086	0.055	0.055	0.074	0.074	0.123	0.135
Áreas Residenciais	0.062	0.033	0.033	0.025	0.025	0.041	0.081
Áreas protegida	0.048	0.025	0.025	0.015	0.015	0.014	0.027
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabela 17 - 2º Passo – 2ª parte

Critérios	Potencial eólico	Rotas Marítimas	Cabos Submarinos	Rede Elétrica	Facilidades Portuárias	Áreas Residenciais	Áreas protegida	
Potencial eólico	$\frac{(0.430 + 0.500 + 0.500 + 0.368 + 0.368 + 0.289 + 0.244)}{7} = 0.385$							
Rotas Marítimas	$\frac{(0.144 + 0.166 + 0.166 + 0.222 + 0.222 + 0.205 + 0.189)}{7} = 0.188$							
Cabos Submarinos	$\frac{(0.144 + 0.166 + 0.166 + 0.222 + 0.222 + 0.205 + 0.189)}{7} = 0.188$							
Rede Elétrica	$\frac{(0.086 + 0.055 + 0.055 + 0.074 + 0.074 + 0.123 + 0.135)}{7} = 0.086$							
Facilidades Portuárias	$\frac{(0.086 + 0.055 + 0.055 + 0.074 + 0.074 + 0.123 + 0.135)}{7} = 0.086$							
Áreas Residenciais	$\frac{(0.062 + 0.033 + 0.033 + 0.025 + 0.025 + 0.041 + 0.081)}{7} = 0.043$							
Áreas protegida	$\frac{(0.048 + 0.025 + 0.025 + 0.015 + 0.015 + 0.014 + 0.027)}{7} = 0.024$							

Capítulo 6

Análise de Resultados

6.1 Teste das hipóteses

6.2 Resposta à questão de investigação

6. Análise de Resultados

Neste capítulo, já com o modelo concluído na plataforma SIG, vai ser efetuada a análise dos resultados e comparação com o Plano de Síntese da Situação Potencial, de forma a responder à questão de investigação principal, dando relevância aos critérios utilizados no estudo. Vai também ser efetuado uma análise de Sensibilidade, para tornar este projeto mais robusto.

6.1 Análise

Para análise dos resultados obtidos na implementação deste projeto foi usado um modelo amplamente utilizado no âmbito da Marinha Portuguesa, designado por modelo AEA (Adequabilidade, Exequibilidade e Aceitabilidade). Para aplicação do primeiro critério, Adequabilidade, foi considerado o resultado obtido na 1ª Fase, quando aplicadas as variáveis Profundidade, Distância à costa e Áreas protegidas, e se obtiveram as áreas adequadas à implementação de plataformas eólicas *offshore*, conforme Apêndice N. De referir que a variável mais significativa e preponderante no projeto, devido ao acentuado declive da nossa costa, é a Profundidade ≤ 50 metros.

O 2º critério, Exequibilidade, foi aplicado quando introduzidas as variáveis Distância às Áreas Protegidas, Apêndice T, Distância aos Cabos Submarinos, Apêndice U, e Distância às rotas marítimas, Apêndice S. Por último, foi aplicado o critério Aceitabilidade, quando foram aplicadas as restantes variáveis do projeto, Distância à Rede elétrica, Apêndice P, Distância às Facilidades Portuárias, Apêndice Q, Distância às Áreas Residenciais, Apêndice R, e Potencial Eólico, Apêndice O.

O resultado final do SIG desta dissertação que apresenta a localização ideal das plataformas eólicas *offshore*, Apêndice V, cumpre, portanto, todos os critérios AEA e foi ao encontro das dúvidas iniciais suscitadas ao autor quando tomou conhecimento do POEM, o que o levou a abordar este tema e a colocar a questão de investigação. Poder-se-á ainda constatar na análise desse mapa que a localização escolhida para o projeto “WindFloat Atlantic (WFA)” corresponde ao seu valor mais elevado.

6.2 Análise de Sensibilidade

Devido à dimensão e ambição do projeto, foram consideradas as seguintes análises de sensibilidade, de forma a dar maior credibilidade ao projeto, onde a primeira decorre do método AHP, na escolha dos pesos das diversas variáveis, como explicado no capítulo 4. E a segunda análise, à semelhança do modelo de Stefanakou e Nikitakos, foi efetuar testes de mudança dos pesos das variáveis, nomeadamente, para valores iguais, e para quando as variáveis, Distância às Áreas Residenciais e Distância às Áreas Protegidas, têm o valor nulo. Para a apresentação da primeira análise são apresentados os cálculos do CR, na tabela 18, e concomitantemente a demonstração do valor obtido ter sido inferior a 0.10.

Tabela 18- 3ºPasso -1ª parte

Critérios	Potencial eólico	Rotas Marítimas	Cabos Submarinos	Rede Elétrica	Facilidades Portuárias	Áreas Residenciais	Áreas protegida	Vetor de Consistência
Potencial eólico	$\frac{(0.430 + 0.500 + 0.500 + 0.368 + 0.368 + 0.289 + 0.244)}{7} = 0.385$							$\frac{2.8900}{0.385} = 7.50649$
Rotas Marítimas	$\frac{(0.144 + 0.166 + 0.166 + 0.222 + 0.222 + 0.205 + 0.189)}{7} = 0.188$							$\frac{1.4033}{0.188} = 7.46436$
Cabos Submarinos	$\frac{(0.144 + 0.166 + 0.166 + 0.222 + 0.222 + 0.205 + 0.189)}{7} = 0.188$							$\frac{1.4033}{0.188} = 7.46436$
Rede Elétrica	$\frac{(0.086 + 0.055 + 0.055 + 0.074 + 0.074 + 0.123 + 0.135)}{7} = 0.086$							$\frac{0.6233}{0.086} = 7.24767$
Facilidades Portuárias	$\frac{(0.086 + 0.055 + 0.055 + 0.074 + 0.074 + 0.123 + 0.135)}{7} = 0.086$							$\frac{0.6233}{0.086} = 7.24767$
Áreas Residenciais	$\frac{(0.062 + 0.033 + 0.033 + 0.025 + 0.025 + 0.041 + 0.081)}{7} = 0.043$							$\frac{0.3025}{0.043} = 7.03488$
Áreas protegida	$\frac{(0.048 + 0.025 + 0.025 + 0.015 + 0.015 + 0.014 + 0.027)}{7} = 0.024$							$\frac{0.1692}{0.024} = 7.05$

$$\lambda = \frac{7.50649 + 7.46436 + 7.46436 + 7.24767 + 7.24767 + 7.03488 + 7.05}{7} = 7.2879 \quad (7)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{7.2879 - 7}{7 - 1} = 0.04798 \quad (8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.04798}{1.32} = 0.036 \quad (9)$$

O valor obtido é inferior a 0.10, o que significa que concede aos valores da comparação uma muito boa consistência, e por essa razão uma maior credibilidade ao projeto. As restantes análises de sensibilidade, ficaram apenas na amostra dos resultados (Apêndices W e X).

6.3 Resposta à questão de investigação

- Quais os critérios principais na definição das áreas de implantação de plataformas eólicas *offshore*?

Como acima referido, os principais critérios foram, na Fase 1, a Profundidade $\leq 50\text{m}$, a Distância à Costa $\leq 6\text{ NM}$ e excluir as Áreas Protegidas. Na Fase 2, foram utilizados os critérios: Potencial Eólico; Distância à Rede Elétrica; Distância às Facilidades Portuárias; Distância às Áreas Residenciais; Distância às Rotas Marítimas; Distância às Áreas Protegidas e, por último, Distância aos Cabos Submarinos.

- Qual o peso desses critérios na tomada de decisão?

No decorrer do método AHP, foram calculados os pesos para cada variável, apresentados no capítulo 5. Esses pesos, como explicado no subcapítulo anterior, estão coerentes com o $CR < 0.10$, e foram descritos na seguinte Tabela 15:

Tabela 19- Hierarquia entre as variáveis da 2ª Fase

Variáveis	Fundamento	Peso (%)
Potencial Eólico	O potencial eólico é considerado o critério mais importante, visto que determina o rendimento do aerogerador.	38,5
Rotas Marítimas & Cabos Submarinos	As Rotas Marítimas e os Cabos Submarinos são os próximos critérios, porque, o já existente uso do mar, pode dificultar a instalação e/ou a licença.	18,8
Rede Elétrica & Portos	A distância à Rede Elétrica e às Facilidades Portuárias são tidas como menos importantes, devido ao facto de eles afetarem principalmente o custo final da instalação, manutenção e desmantelamento e perdas energéticas.	8,6

Áreas Residenciais	Em sexto lugar, a distância às Áreas Residenciais, representa apenas uma preocupação de minimizar as reações negativas das populações locais.	4,3
Áreas Protegidas	Finalmente, a distância às Áreas Protegidas, é colocada em ultimo lugar, visto que esta variável já havia sido utilizada para a criação da zona de exclusão, na 1ª Fase.	2,4

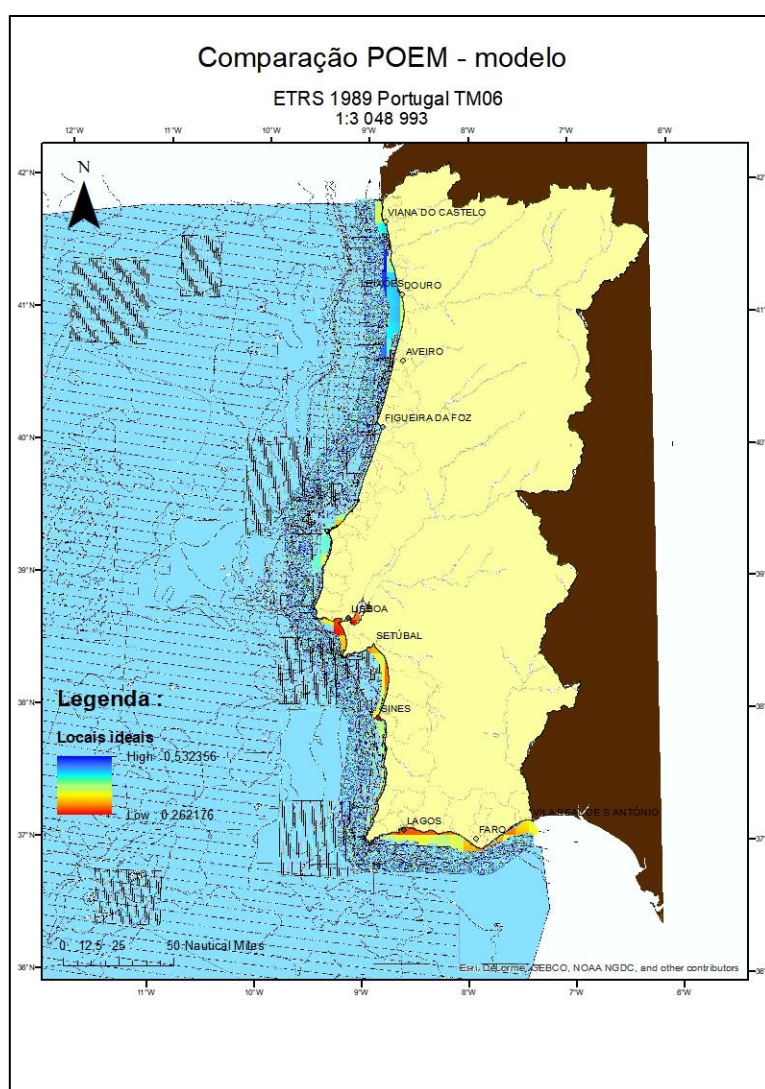
- Qual o modelo mais adequado para ponderar os critérios de decisão selecionados?

Existe uma grande discussão sobre este assunto, como se pode constatar no exposto acima no Capítulo 3. Sendo esta dissertação bastante ambiciosa no que diz respeito ao número de dados analisados e critérios usados, a escolha aceitável, tendo em conta o período de tempo disponível na sua elaboração, recaiu no método AHP que, sendo um método simples, não deixa de ser adequado e, ainda assim, não menos correto em relação a outros métodos mais elaborados.

- Existe diferença significativa entre as áreas de implantação de plataformas eólicas *offshore* obtidas pela aplicação do modelo de decisão e as áreas estabelecidas nas cartas que resultam dos trabalhos sobre o ordenamento do espaço marítimo?

Sim, de acordo com o referido no subcapítulo anterior e de acordo com a Figura 33.

Figura 33- Comparação entre o modelo e as propostas do POEM



Diretamente relacionada com a declaração da dissertação é a questão de investigação, que se pretende responder no presente estudo, formulada nos seguintes termos:

- “As áreas definidas nos trabalhos resultantes do POEM, estão de acordo com modelos científicos, para a implantação de plataformas eólicas *offshore*?”

Tendo em consideração que a resposta à questão de investigação principal era concomitante com a resposta às sub-questões, pode-se afirmar que, efetivamente, as áreas não estão de acordo com os modelos científicos, não passando, por exemplo, nos critérios de exequibilidade e aceitabilidade considerados pelo modelo de tomada de decisão elaborado para determinar as localizações ideais de plataformas eólicas offshore em Portugal Continental.

Capítulo 7

Conclusões

7.1 Síntese

7.2 Dificuldades /Trabalho Futuro

7. Conclusões

Neste capítulo pretende-se realizar uma análise crítica do trabalho desenvolvido, assim como dos resultados obtidos. Pretende-se também refletir sobre os objetivos alcançados, bem como às questões e sub-questões de investigação colocadas no presente trabalho.

7.1 Síntese

A atmosfera terrestre corre sérios perigos. A atividade humana na superfície terrestre tem levado a uma degradação do ambiente que nos rodeia e põe em causa a sustentabilidade do nosso futuro.

Para além das causas naturais, o sector energético é o maior responsável pelas emissões poluentes, pelo que deve ser aquele em que maiores esforços devem ser feitos no sentido de minimizar este problema. E neste campo, as fontes de energia renováveis são determinantes como alternativa aos combustíveis fósseis, que têm efeitos bem mais nocivos para o ambiente. Como país de tradição marítima, Portugal pode projetar a sua marca distintiva no panorama internacional. O mar português é não só um ativo crítico com vastas potencialidades económicas, nomeadamente na área dos recursos vivos e não vivos, como também espaço de cultura, turismo e lazer.

A implementação de parques eólicos offshore em larga escala, será uma realidade num futuro próximo, produzindo uma parte significativa do total de eletricidade consumida. Portugal, a par de outros países igualmente vanguardistas, encontra-se na liderança desta mudança de paradigma através de projetos piloto, de sistemas eólicos flutuantes convergindo com as diretivas da União Europeia. Este tema tem especial relevância para a Marinha e a Autoridade Marítima Nacional, face à necessidade de dar pareceres por ocasião do licenciamento das plataformas eólicas no espaço de jurisdição marítimo nacional, bem como todos os aspetos relacionados com as inspeções das plataformas e segurança à navegação. Neste contexto, o planeamento e gestão do espaço marítimo nacional estão atualmente a ser objeto de grandes avanços. De facto, em menos de uma década, foram desenvolvidas e aprovadas para Portugal duas estratégias nacionais para o mar, a ENM 2006-2016 e a ENM 2013-2020, a DQEM foi

transposta para o direito interno nacional e foi estabelecida a Lei Base da Política de Ordenamento e Gestão do Espaço Marítimo que, no seu desenvolvimento, e por despacho do Gabinete da Ministra do Mar, deu origem à elaboração do PSOEM por um grupo de trabalho constituído para esse efeito. Até à aprovação do PSOEM, o POEM constitui a situação de referência para o ordenamento do espaço marítimo e para a atribuição de TUPEM que terá obrigatoriamente emissão de parecer por parte da AMN.

Após o estudo da questão legal, foi feita uma revisão sistemática a diversos métodos de Análise Multicritério tendo em conta que os métodos MCDM, que englobam os MODM e MADM, são constituídos por quatro passos que suportam uma decisão mais eficiente e racional (POHEKAR, et al., 2004), tendo-se destacado os seguintes: AHP, PROMETHEE, ELECTRE E MAUT.

Seguidamente, optou-se por adotar um modelo já existente em detrimento de efetuar um novo modelo de raiz, por forma a evitar erros, falhas de procedimentos ou lacunas de variáveis ou de critérios. Foram tidos em conta 3 fatores para a procura desse modelo: atualidade, semelhança ao estudo de caso e já ter sido validado. Correspondendo a estes critérios de uma forma robusta, foi escolhido o modelo de Stefanakou, de 2016. Tendo em conta que o modelo adotado utilizou o método AHP e ponderada a complexidade dos diversos métodos e a fiabilidade dos seus resultados, foi escolhido esse mesmo método AHP.

A implementação do modelo dentro da área de estudo foi definida teoricamente em duas fases. A 1ª fase corresponde à criação de uma máscara binária onde o valor 1 é atribuído a áreas adequadas, e, portanto, soluções do problema, e o valor 0 às restantes áreas. Na 2ª fase foram tratadas as variáveis que iriam corresponder a parâmetros conducentes à localização ideal das plataformas eólicas offshore.

A partir desta definição de um total de 10 variáveis, profundidade inferior a 50 metros, distancia à costa inferior a 6 milhas náuticas, fora de áreas protegidas, distancia às áreas protegidas, distancia às facilidades portuárias, distancia à rede eclética instalada, distancia aos cabos submarinos, distancia às rotas de tráfego marítimo, distancia às áreas residenciais e potencial eólico, deu-se início à recolha de dados necessária para a elaboração do projeto SEAD em ARCGIS, tarefa esta que se revelou extremamente burocrática e morosa especialmente nas instituições públicas que não disponibilizam este tipo de dados on-line. De referir igualmente que a aquisição de

competências suficientes e necessárias para a utilização do ARCGIS de forma eficaz, envolveu muitas tentativas e erros e, portanto, muito tempo despendido.

Após a recolha de todos os dados disponíveis em tempo útil, colocou-se o modelo a processa-los e foram produzidos vários mapas: mapas de variáveis, mapas de conclusões dos processos SIG, mapas do projeto final em 2 meses distintos, janeiro e agosto por apresentarem os valores mais díspares tendo em conta o intervalo de um ano civil. Foram igualmente produzidos 2 mapas de sensibilidade com resultados muito bons, de cerca de 3%, validando desta forma os resultados obtidos.

Posteriormente foram analisados os resultados obtidos através duma ferramenta amplamente utilizada na Marinha Portuguesa, o método AEA (Adequabilidade, Exequibilidade e Aceitabilidade) e foram respondidas as sub-questões colocadas e concomitantemente à questão de investigação principal.

Em suma, através da criação de um modelo de tomada de decisão, foi respondida, com êxito, a questão principal: “As áreas definidas nos trabalhos resultantes do PSOEM estão de acordo com modelos científicos para a implementação de plataformas eólicas offshore?”. Efetivamente, as áreas produzidas pelo grupo de trabalho não são completamente fiéis aos modelos científicos, falhando perentoriamente em critérios de exequibilidade e aceitabilidade compreendidos no modelo agora criado, modelo este que servirá de ferramenta futura para quem dele quiser tirar proveito, seja um órgão de gestão da Marinha, AMN ou publico em geral, uma vez que ficará totalmente disponível.

7.2 Desafios/Trabalhos Futuros

7.2.1 Desafios

No decorrer desta dissertação, tal como em qualquer projeto ou trabalho, existiram alguns desafios à sua elaboração que, à posteriori, se transformaram em oportunidades!

O primeiro grande desafio foi o grau de ambição colocado na elaboração da dissertação, designadamente a necessidade da elaboração de um modelo em SIG. A oportunidade surgiu na possibilidade de efetuar um estudo profundo destas matérias e consequente desenvolvimento de competências nessa área. “Escolhe o caminho mais difícil e tenta ser o melhor...”

Um segundo grande desafio, e que quase colocou em causa o sucesso desta dissertação, foi colocado na fase de recolha de dados relevantes em formatos compatíveis com o ArcGIS, com boa descrição espacial e do mesmo período de tempo. Fora os dados disponibilizados on-line por algumas entidades, os restantes dados foram de difícil acesso, embutidos de burocracia e extemporâneos. Uma excelente oportunidade para desenvolver a perseverança e determinação.

Outro grande desafio, por resolver, que me esta a providenciar uma enorme oportunidade de desenvolvimento pessoal, foi a inexistência de resposta a diversas tentativas de contatos efetuados com elementos participantes nos trabalhos conducentes à produção do PSOEM no sentido de esclarecer diferentes aspetos que estiveram na base da sua elaboração.

7.2.2 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros seria interessante, no meu ponto de vista, desenvolver um modelo próprio de raiz em vez de ser um adaptado. Perder-se-ia as vantagens inerentes ao uso de um modelo já validado, mas, certamente, aumentaria o grau de conhecimento, de complexidade de ferramentas e do grau de certeza relativamente à localização ideal das plataformas. Para além disso, e podendo ser aplicado a qualquer dos modelos no futuro, considerar a inclusão de mais critérios no projeto, designadamente o declive do fundo, a tipologia do fundo (areia, rocha, etc.), entradas e saída de portos, densidade populacional, entre outros. Em complemento a este projeto, poder-se-á alterar os critérios já existentes, como por exemplo aumentar a distancia á costa visto que já se começa a ponderar estabelecer parque eólicos em aguas profundas ou substituir os dados dos corredores de tráfego por dados AIS ou MONICAP.

Como ideia final, a possibilidade de elaborar um *WebSIG* que permitisse a sua consulta livremente.

Bibliografia

- Alves, J. E. D. (2014). Sustentabilidade , Aquecimento Global e o Decrescimento Demoeconômico. *Revista Espinhaço*, 3(1), 4–16.
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook Second Edition*. (L. John Wiley and Sons, Ed.) (Second). United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd.
- Cardoso, A. S. (2007). *Remuneração de Energias Renováveis em Portugal*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Carvalho, V. de. (1995). *A importância do mar para Portugal*. Bertrand Editora.
- Casey, Z. (2012). Offshore wind farms benefit sealife, says study.
- Castro, R. M. G. (2005). Introdução à energia eólica. In *Energias Renováveis e Produção Descentralizada* (2.1). Lisboa: ITS Press.
- CEO. (2004). *Relatório da Comissão Estratégica dos Oceanos*.
- Chakraborty, S. (2007). A Simulation Based Comparative Study of Normalization Procedures in Multiattribute Decision Making, 102–109.
- Chauhan, A., & Vaish, R. (2012). Magnetic Material Selection Using Multiple Attribute Decision Making Approach. *Materials and Design*, 36(2012), 1–5.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.11.021>
- Cheng, E. W., Li, H., & Yu, L. (2005). The analytic network process (ANP) approach to location selection: a shopping mall illustration. *Construction Innovation*, 5(2), 83–97.
- Clímaco, J. (1997). *Multicriteria analysis* (ed.). Springer Verlag.
- Cristóbal, J. R. S. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain : The Vikor method. *Renewable Energy*, 36, 498–502.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.031>
- DEMOGRAVI3 é o novo projeto de energia eólica offshore EDP. (2015). Retrieved April 29, 1BC, from <https://www.edp.pt/pt/media/noticias/2015/Pages/Demogravi3.aspx>
- DGEG. (2009). DGEG - DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA,. Retrieved March 20,

- 2017, from <http://www.dgeg.pt/>
- Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kabelis, N., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., & Stavrakakis, G. (2010). A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, 35(35), 5483–5496. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.012>
- Diakoulaki, D., & Karangelis, F. (2007). Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716–727.
- ENEOP. (2012). Energias Renováveis em Portugal. Retrieved February 13, 2017, from <http://www.eneop.pt/>
- Ferreira, P. F. V. (2007). *Electricity Power Planning in Portugal : The Role of Wind Energy*. Universidade do Minho.
- Firminio, T. (2016). A plataforma continental, a missão que aí vem e a novidade de uma adenda. *Público*. Retrieved from <https://www.publico.pt/2016/08/27/ciencia/noticia/a-plataforma-continental-a-missao-que-ai-vem-e-a-novidade-de-uma-adenda-1742414>
- Foell, W. K. (1985). Energy planning in developing countries. *Energy Policy*, 13(special issue), 350–354.
- Fonseca, C. L. da. (2006). *Oceanos e Mares . Perspectivas para Portugal*. Lisboa.
- Freitas, P. J. S. de P. (2009). *Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão- Suporte a Actividades de Negócio*. Universidade do Minho.
- Garcia, R. (2004). *Sobre a Terra. Um guia para quem lê e escreve sobre ambiente*. Lisboa: Público.
- Government, P. (2012a). *Marine Strategy for the continental exclusive economic zone - Marine Strategy Framework Directive*. Portugal: Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.
- Government, P. (2012b). *Marine Strategy for the extended continental shelf - Marine Strategy Framework Directive*. Portugal: Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.
- Hansen, J., Russell, G., Lacis, A., Fung, I., Rind, D., & Stone, P. (1985). Climate response times: dependence on climate sensitivity and ocean mixing. *Science*, 229, 857–860.
- Herring, J. R. (2011). OpenGIS[®] Implementation Standard for Geographic information -

- Simple feature access - Part 1 : Common architecture. *OpenGIS® Implementation Standard*.
- IEA. (2005). *Offshore wind experiences*.
- Jarupathirun, S., & Zahedi, F. (2005). GIS as spatial decision support systems. *Geographic Information Systems in Business*, 151–174.
- Kamp, L. M., Smits, R. E. H. M., & Andriessse, C. D. (2004). Notions on learning applied to wind turbine development in the Netherlands and Denmark. *Energy Policy*, 32, 1625–1637. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00134-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00134-4)
- Keenan, P. (2005). Concepts and Theories of GIS in Business. *Geographic Information Systems in Business*, 1–32.
- Lavado, A. L. C. (2009). Os Actuais Desafios da Energia. Implementação e Utilização das Energias Renováveis., 68.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. (J. W. & Sons, Ed.). Eastburn.
- Martins, M. D. S. S. B. (2009). *Sistemas de Aproveitamento da Energia do Mar*. Universidade de Aveiro.
- Miller, G. T. (2006). Environmental Science. United States of America: Thomson Learning, Inc.
- Million, E. (2007). The Hadamard Product.
- Muyeen, S. M., Takahashi, R., & Tamura, J. (2010). Operation and Control of HVDC-Connected Offshore Wind Farm. *Sustainable Energy*, 1(1), 30–37.
- Oberschmidt, J., & Ludwig, J. (2010). Modified PROMETHEE approach for assessing energy technologies. *International Journal of Energy Sector Management*, 4(2), 183–212. <https://doi.org/10.1108/17506221011058696>
- Owen, J. (2014). Offshore wind farms create “reef effect” perfect for marine wildlife - especially seals. *Independent*, (21 de julho). Retrieved from <http://www.independent.co.uk/environment/offshore-wind-farms-create-reef-effect-perfect-for-marine-wildlife-especially-seals-9619371.html>
- Pauly, D. (2013). Sea Around Us Project. Exclusive Economic Zones. Sea Around Us Project - Fisheries, Ecosystems and Biodiversity. The Pew Charitable Trusts. Retrieved January 15, 1BC, from <http://www.seaaroundus.org/data/#/eez>
- Pires, R. M. M. (2013). *Estratégias de Reposição de Serviço em Sistemas HVDC com*

- Interligação a Parques Eólicos Offshore*. Universidade do Porto.
- Pohekar, S. D. Ã., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning — A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 365–381. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
- Power, D. (2003). A Brief History of Decision Support Systems. Retrieved April 14, 2017, from <http://dssresources.com/history/dsshhistoryv28.html>
- Power, D. J. (2001). Supporting Decision - Makers: An Expanded Framework. In *Informing Science* (pp. 1–6).
- Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems : Concepts And Resources For Managers*. Greenwood Publishing Group.
- Power, M. (2007). Organized uncertainty: Designing a world of risk management. Oxford University Press on Demand.
- Ribeiro, F. M. (2008, February 8). Sucesso de metas para energia das ondas depende dos próximos dois anos. *Ambio*.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. *McGraw-Hill*, 24, 1721–1732.
- Saaty, T. L. (1996). *The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications. <https://doi.org/10.1007/1-4020-0611-X>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Santos, C. F., Teixeira, Z., Janeiro, J., Gonçalves, R. S., Bjorkland, R., & Orbach, M. (2015). The European Marine Strategy : Contribution and challenges from a Portuguese perspective. *Marine Policy*, 36, 963–968. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.02.011>
- Santos, F. D. (2007). *Que futuro? Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento e Ambiente*. Lisboa: Gradiva.
- Schafersman, S. D. (1994). Scientific Thinking and the Scientific Method. An Introduction to Science. Retrieved March 30, 2017, from <http://www.geo.sunysb.edu/esp/files/scientific-method.html>
- Silva, C. A. S., Matias, S., Mafra, C., Sim-Sim, F., Estaqueiro, A., Simões, T., ... Cardoso, A. (2008). *RoadMap para as Energias Renováveis Offshore em Portugal*. Lisboa.
- Stefanakou, A.-A., & Nikitakos, N. (2016). A Decision Support model for site selection of offshore wind farms. In *9th International Scientific Conference on Energy and*

Climate Change. Athens.

Subsorn, P., & Singh, K. (2007). DSS Applications as a Business Enhancement Strategy. In *Proceedings from the 3rd annual Transforming Information and Learning Conference*.

Sugumaran, V., & Sugumaran, R. (2005). Web-based Spatial Decision Support Systems (WebSDSS): Evolution , Architecture , and Challenges. In *Third Annual SIGDSS Pre-ICIS Workshop Designing Complex Decision Support: Discovery and Presentation of Information and Knowledge*. LAs Vegas.

Sustainability. (2016). Retrieved April 29, 1BC, from <https://www.statoil.com/en/how-and-why/sustainability.html>

UNFCCC. (2014). Kyoto Protocol. Retrieved January 17, 2017, from http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

Vannuci, D. (n.d.). *WP3 Technologies state of the Art- ORECCA*.

Wang, J. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263–2278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.021>

Wang, M., Lin, S. J., & Lo, Y. C. (2010). The comparison between MAUT and PROMETHEE. In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. In *2010 IEEE International Conference* (pp. 753–757). IEEE.

Wang, Y.-M. (2010). Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 51(1–2), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.07.016>

WindFloat®. (2015). Retrieved April 29, 1BC, from <http://principlepowerinc.com/en/windfloat>

WindFloat regressa ao porto depois de missão bem-sucedida no mar. (2016). Retrieved April 29, 2017, from <https://www.edp.pt/pt/media/noticias/2016/Pages/WindFloatregressaaoportodepoisdemissaobemsucedidanomar.aspx>

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179.

-). *Scientific Thinking and the Scientific Method. An Introduction to Science*. Consultado em 21 de fevereiro de 2017. Retirado de <http://www.geo.sunysb.edu/esp/files/scientific-method.html>
- Alves, J. E. D. (2014). Sustentabilidade , Aquecimento Global e o Decrescimento Demográfico. *Revista Espinhaço*, 3(1), 4–16.
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook Second Edition*. (L. John Wiley and Sons, Ed.) (Second). United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd.
- Cardoso, A. S. (2007). *Remuneração de Energias Renováveis em Portugal*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Carvalho, V. de. (1995). *A importância do mar para Portugal*. Bertrand Editora.
- Casey, Z. (2012). Offshore wind farms benefit sealife, says study.
- Castro, R. M. G. (2005). Introdução à energia eólica. In *Energias Renováveis e Produção Descentralizada* (2.1). Lisboa: ITS Press.
- CEO. (2004). *Relatório da Comissão Estratégica dos Oceanos*.
- Chakraborty, S. (2007). A Simulation Based Comparative Study of Normalization Procedures in Multiattribute Decision Making, 102–109.
- Chauhan, A., & Vaish, R. (2012). Magnetic Material Selection Using Multiple Attribute Decision Making Approach. *Materials and Design*, 36(2012), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.11.021>
- Cheng, E. W., Li, H., & Yu, L. (2005). The analytic network process (ANP) approach to location selection: a shopping mall illustration. *Construction Innovation*, 5(2), 83–97.
- Clímaco, J. (1997). *Multicriteria analysis* (ed.). Springer Verlag.
- Cristóbal, J. R. S. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain : The Vikor method. *Renewable Energy*, 36, 498–502. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.031>
- DEMOGRAVI3 é o novo projeto de energia eólica offshore EDP. (2015). Retrieved April 29, 1BC, from <https://www.edp.pt/pt/media/noticias/2015/Pages/Demogravi3.aspx>
- DGEG. (2009). DGEG - DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA,. Retrieved March 20, 2017, from <http://www.dgeg.pt/>

- Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kabelis, N., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., & Stavrakakis, G. (2010). A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, 35(35), 5483–5496. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.012>
- Diakoulaki, D., & Karangelis, F. (2007). Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716–727.
- ENEOP. (2012). Energias Renováveis em Portugal. Retrieved February 13, 2017, from <http://www.eneop.pt/>
- Ferreira, P. F. V. (2007). *Electricity Power Planning in Portugal : The Role of Wind Energy*. Universidade do Minho.
- Firminio, T. (2016). A plataforma continental, a missão que aí vem e a novidade de uma adenda. *Público*. Retrieved from <https://www.publico.pt/2016/08/27/ciencia/noticia/a-plataforma-continental-a-missao-que-ai-vem-e-a-novidade-de-uma-adenda-1742414>
- Foell, W. K. (1985). Energy planning in developing countries. *Energy Policy*, 13(special issue), 350–354.
- Fonseca, C. L. da. (2006). *Oceanos e Mares . Perspectivas para Portugal*. Lisboa.
- Freitas, P. J. S. de P. (2009). *Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão- Suporte a Actividades de Negócio*. Universidade do Minho.
- Garcia, R. (2004). *Sobre a Terra. Um guia para quem lê e escreve sobre ambiente*. Lisboa: Público.
- Government, P. (2012a). *Marine Strategy for the continental exclusive economic zone - Marine Strategy Framework Directive*. Portugal: Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.
- Government, P. (2012b). *Marine Strategy for the extended continental shelf - Marine Strategy Framework Directive*. Portugal: Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.
- Hansen, J., Russell, G., Lacis, A., Fung, I., Rind, D., & Stone, P. (1985). Climate response times: dependence on climate sensitivity and ocean mixing. *Science*, 229, 857–860.
- Herring, J. R. (2011). OpenGIS[®] Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access - Part 1 : Common architecture. *OpenGIS[®] Implementation*

Standard.

IEA. (2005). *Offshore wind experiences*.

Jarupathirun, S., & Zahedi, F. (2005). GIS as spatial decision support systems. *Geographic Information Systems in Business*, 151–174.

Kamp, L. M., Smits, R. E. H. M., & Andriessse, C. D. (2004). Notions on learning applied to wind turbine development in the Netherlands and Denmark. *Energy Policy*, 32, 1625–1637. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00134-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00134-4)

Keenan, P. (2005). Concepts and Theories of GIS in Business. *Geographic Information Systems in Business*, 1–32.

Lavado, A. L. C. (2009). Os Actuais Desafios da Energia. Implementação e Utilização das Energias Renováveis., 68.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. (J. W. & Sons, Ed.). Eastburn.

Martins, M. D. S. S. B. (2009). *Sistemas de Aproveitamento da Energia do Mar*. Universidade de Aveiro.

Miller, G. T. (2006). Environmental Science. United States of America: Thomson Learning, Inc.

Million, E. (2007). The Hadamard Product.

Muyeen, S. M., Takahashi, R., & Tamura, J. (2010). Operation and Control of HVDC-Connected Offshore Wind Farm. *Sustainable Energy*, 1(1), 30–37.

Oberschmidt, J., & Ludwig, J. (2010). Modified PROMETHEE approach for assessing energy technologies. *International Journal of Energy Sector Management*, 4(2), 183–212. <https://doi.org/10.1108/17506221011058696>

Owen, J. (2014). Offshore wind farms create “reef effect” perfect for marine wildlife - especially seals. *Independent*, (21 de julho). Retrieved from <http://www.independent.co.uk/environment/offshore-wind-farms-create-reef-effect-perfect-for-marine-wildlife-especially-seals-9619371.html>

Pauly, D. (2013). Sea Around Us Project. Exclusive Economic Zones. Sea Around Us Project - Fisheries, Ecosystems and Biodiversity. The Pew Charitable Trusts. Retrieved January 15, 1BC, from <http://www.seaaroundus.org/data/#/eez>

Pires, R. M. M. (2013). *Estratégias de Reposição de Serviço em Sistemas HVDC com Interligação a Parques Eólicos Offshore*. Universidade do Porto.

- Pohekar, S. D. Ã., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning — A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 365–381. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
- Power, D. (2003). A Brief History of Decision Support Systems. Retrieved April 14, 2017, from <http://dssresources.com/history/dsshistoryv28.html>
- Power, D. J. (2001). Supporting Decision - Makers: An Expanded Framework. In *Informing Science* (pp. 1–6).
- Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems : Concepts And Resources For Managers*. Greenwood Publishing Group.
- Power, M. (2007). Organized uncertainty: Designing a world of risk management. Oxford University Press on Demand.
- Ribeiro, F. M. (2008, February 8). Sucesso de metas para energia das ondas depende dos próximos dois anos. *Ambio*.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. *McGraw-Hill*, 24, 1721–1732.
- Saaty, T. L. (1996). *The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications. <https://doi.org/10.1007/1-4020-0611-X>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Santos, C. F., Teixeira, Z., Janeiro, J., Gonçalves, R. S., Bjorkland, R., & Orbach, M. (2015). The European Marine Strategy : Contribution and challenges from a Portuguese perspective. *Marine Policy*, 36, 963–968. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.02.011>
- Santos, F. D. (2007). *Que futuro? Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento e Ambiente*. Lisboa: Gradiva.
- Schafersman, S. D. (1994). Scientific Thinking and the Scientific Method. An Introduction to Science. Retrieved March 30, 2017, from <http://www.geo.sunysb.edu/esp/files/scientific-method.html>
- Silva, C. A. S., Matias, S., Mafra, C., Sim-Sim, F., Estaqueiro, A., Simões, T., ... Cardoso, A. (2008). *RoadMap para as Energias Renováveis Offshore em Portugal*. Lisboa.
- Stefanakou, A.-A., & Nikitakos, N. (2016). A Decision Support model for site selection of offshore wind farms. In *9th International Scientific Conference on Energy and Climate Change*. Athens.

- Subsorn, P., & Singh, K. (2007). DSS Applications as a Business Enhancement Strategy. In *Proceedings from the 3rd annual Transforming Information and Learning Conference*.
- Sugumaran, V., & Sugumaran, R. (2005). Web-based Spatial Decision Support Systems (WebSDSS): Evolution , Architecture , and Challenges. In *Third Annual SIGDSS Pre-ICIS Workshop Designing Complex Decision Support: Discovery and Presentation of Information and Knowledge*. LAs Vegas.
- Sustainability. (2016). Retrieved April 29, 1BC, from <https://www.statoil.com/en/how-and-why/sustainability.html>
- UNFCCC. (2014). Kyoto Protocol. Retrieved January 17, 2017, from http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- Vannuci, D. (n.d.). *WP3 Technologies state of the Art- ORECCA*.
- Wang, J. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263–2278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.021>
- Wang, M., Lin, S. J., & Lo, Y. C. (2010). The comparison between MAUT and PROMETHEE. In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. In *2010 IEEE International Conference* (pp. 753–757). IEEE.
- Wang, Y.-M. (2010). Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 51(1–2), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.07.016>
- WindFloat®. (2015). Retrieved April 29, 1BC, from <http://principlepowerinc.com/en/windfloat>
- WindFloat regressa ao porto depois de missão bem-sucedida no mar. (2016). Retrieved April 29, 2017, from <https://www.edp.pt/pt/media/noticias/2016/Pages/WindFloatregressaaoportodepoisdemissaobemsucedidanomar.aspx>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179.

Decreto-Lei n.º 108/2010, de 13 de Outubro de 2010". Portugal: Diário da República, 1.ª Série, 199; 2010. p. 4462-72.

Resolução de Conselho de Ministros n.º 163/2006, de 12 de Dezembro de 2006. Diário da República, 1.ª Série, 237; 2006. p. 8316-27.

Resolução de Conselho de Ministros n.º 12/2014, de 12 de Fevereiro de 2014. Diário da República, 1.ª Série, 30; 2014. p. 1310-36

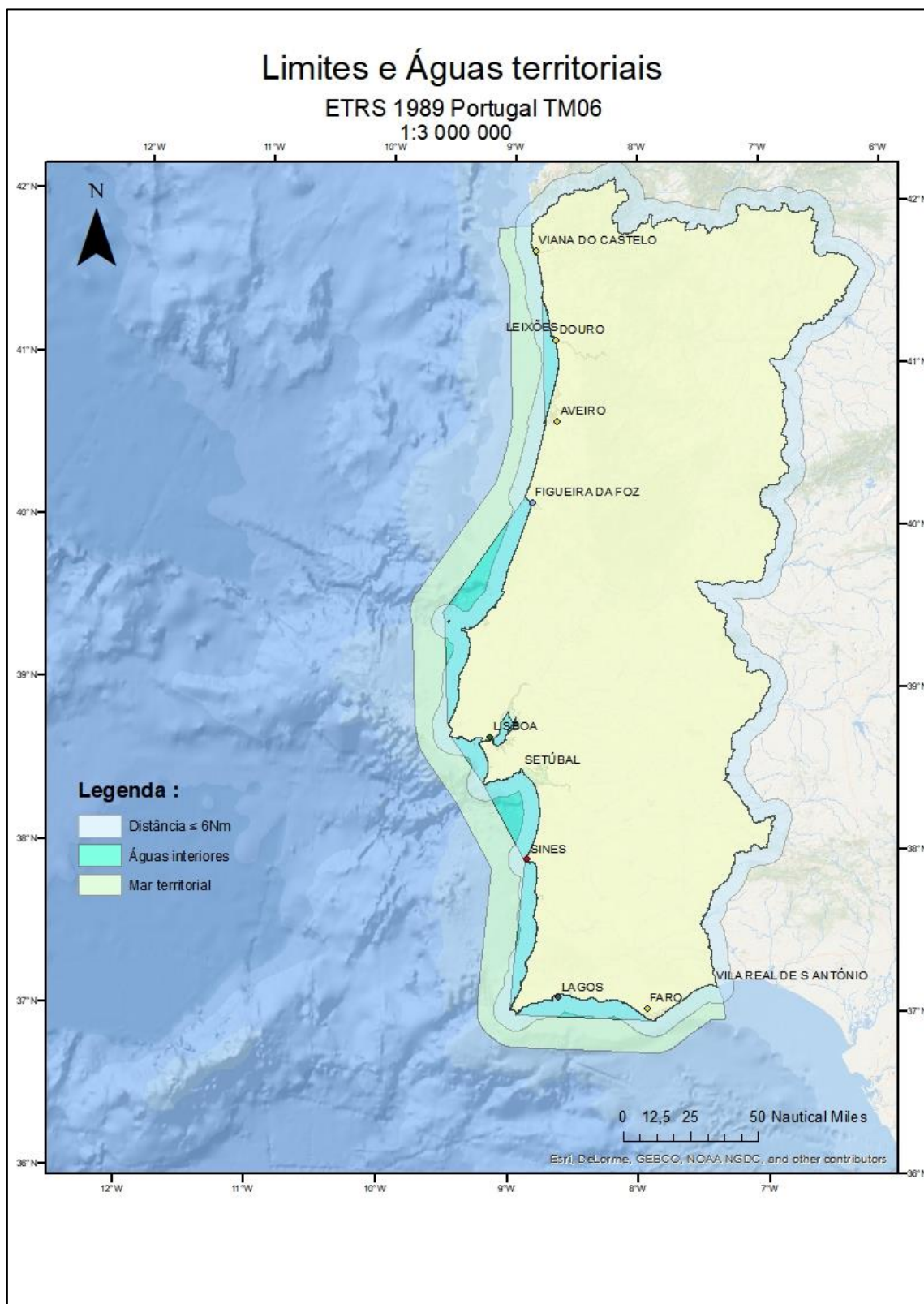
Apêndices

Apêndice A

Figura 34 - Exemplo de código para cálculo do Potencial eólico

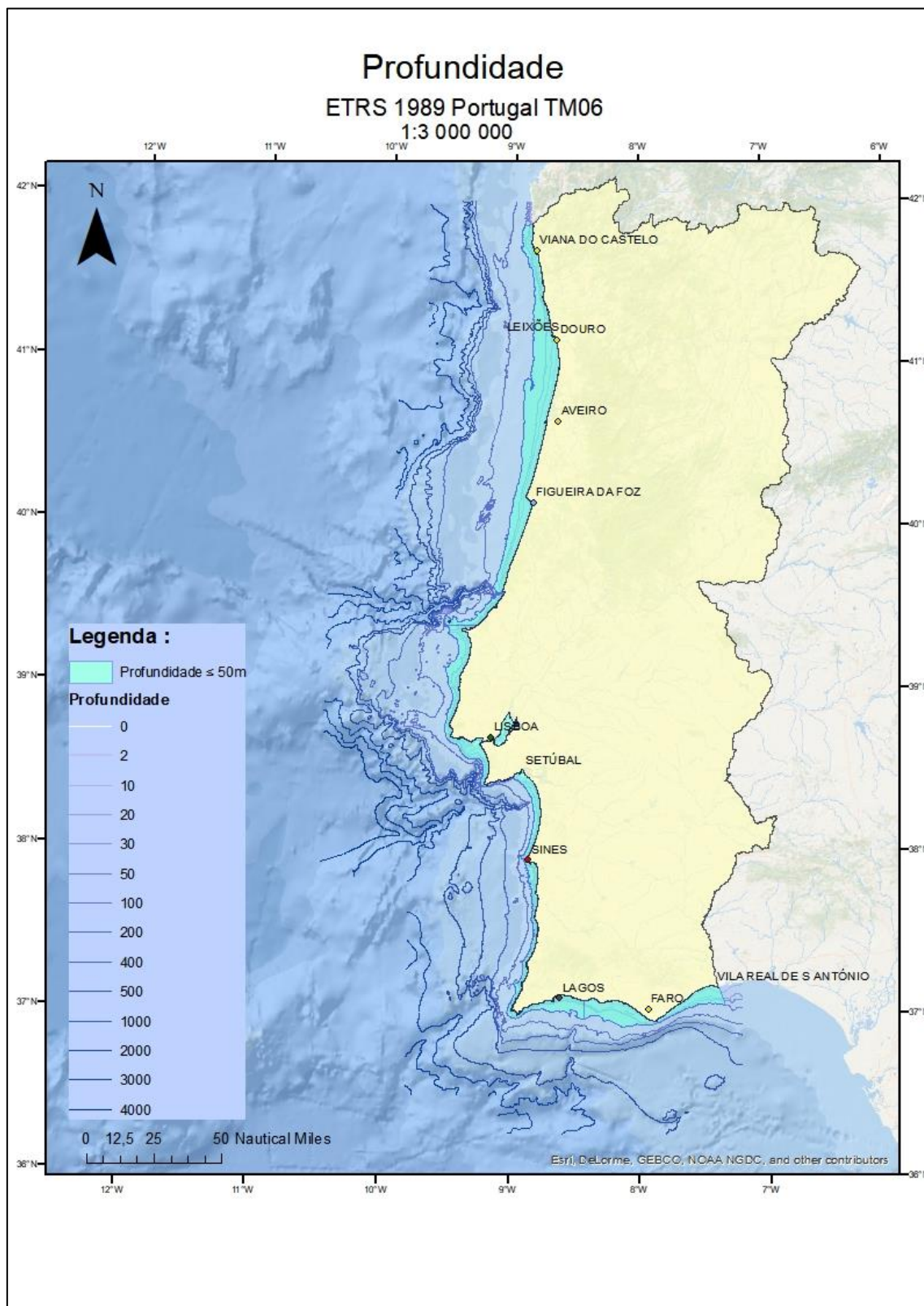
Apêndice B

Figura 35- Dados iniciais da variável limites e águas territoriais



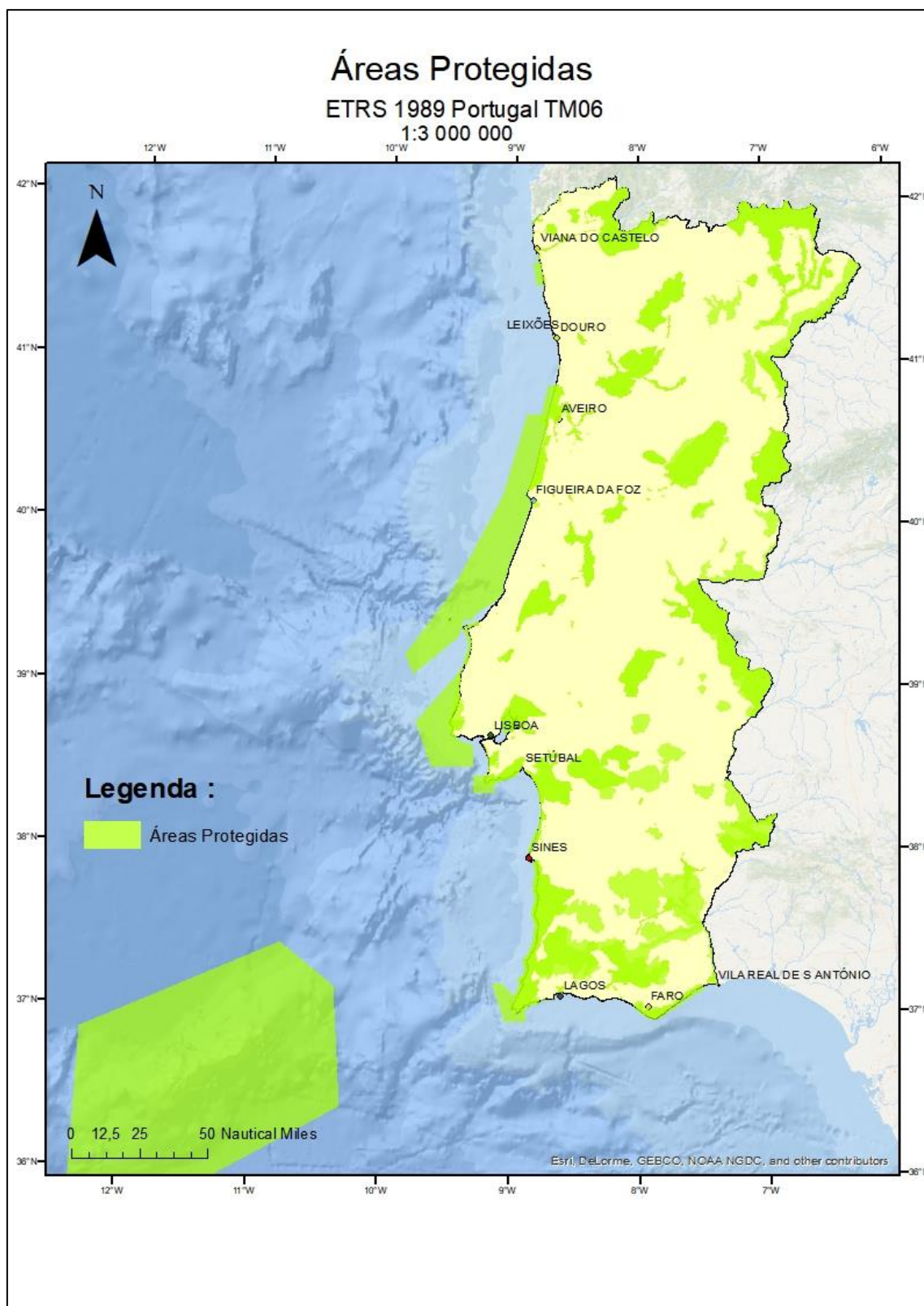
Apêndice C

Figura 36- Dados iniciais da variável Profundidade



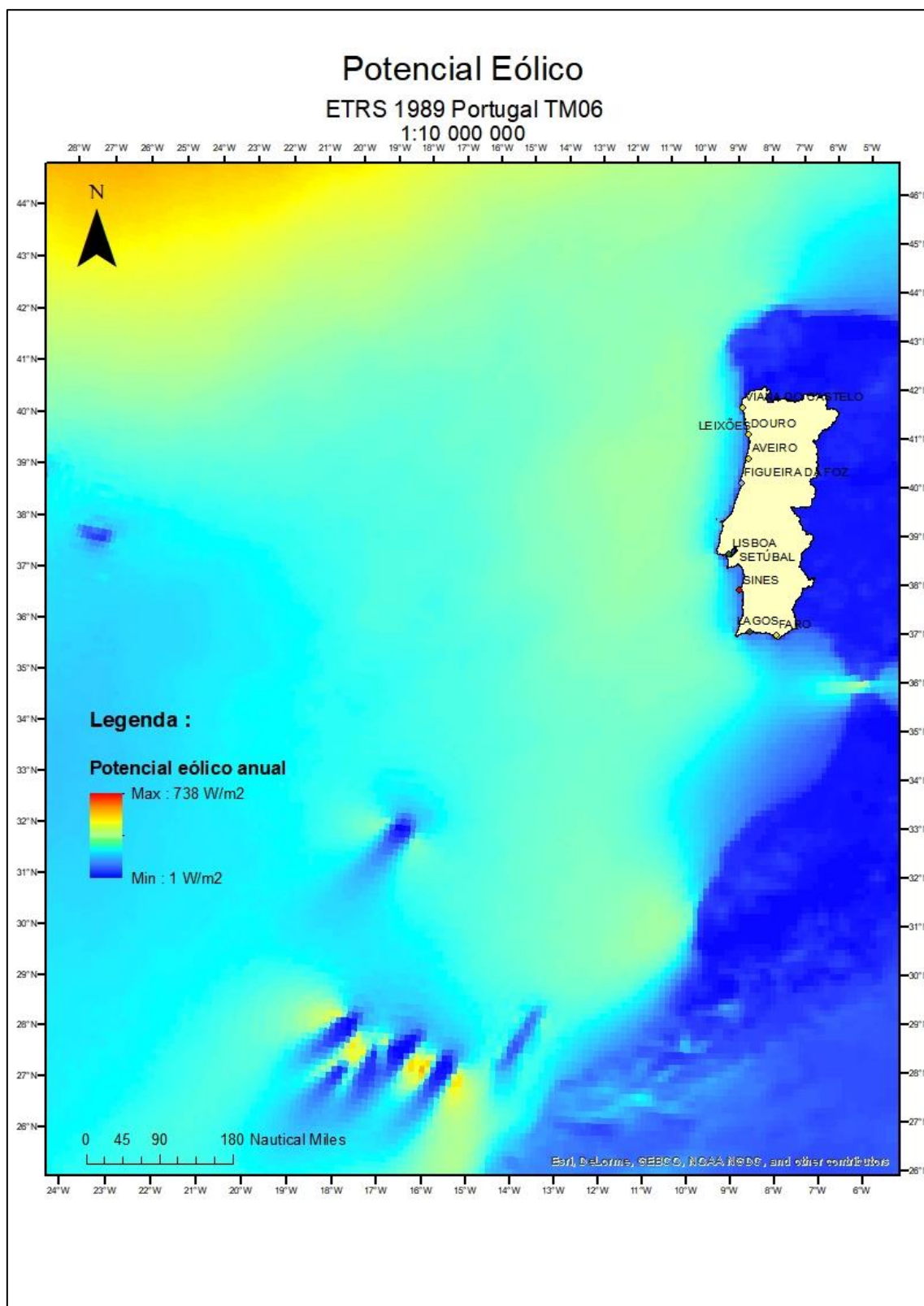
Apêndice D

Figura 37 – Dados iniciais da variável Áreas Protegidas



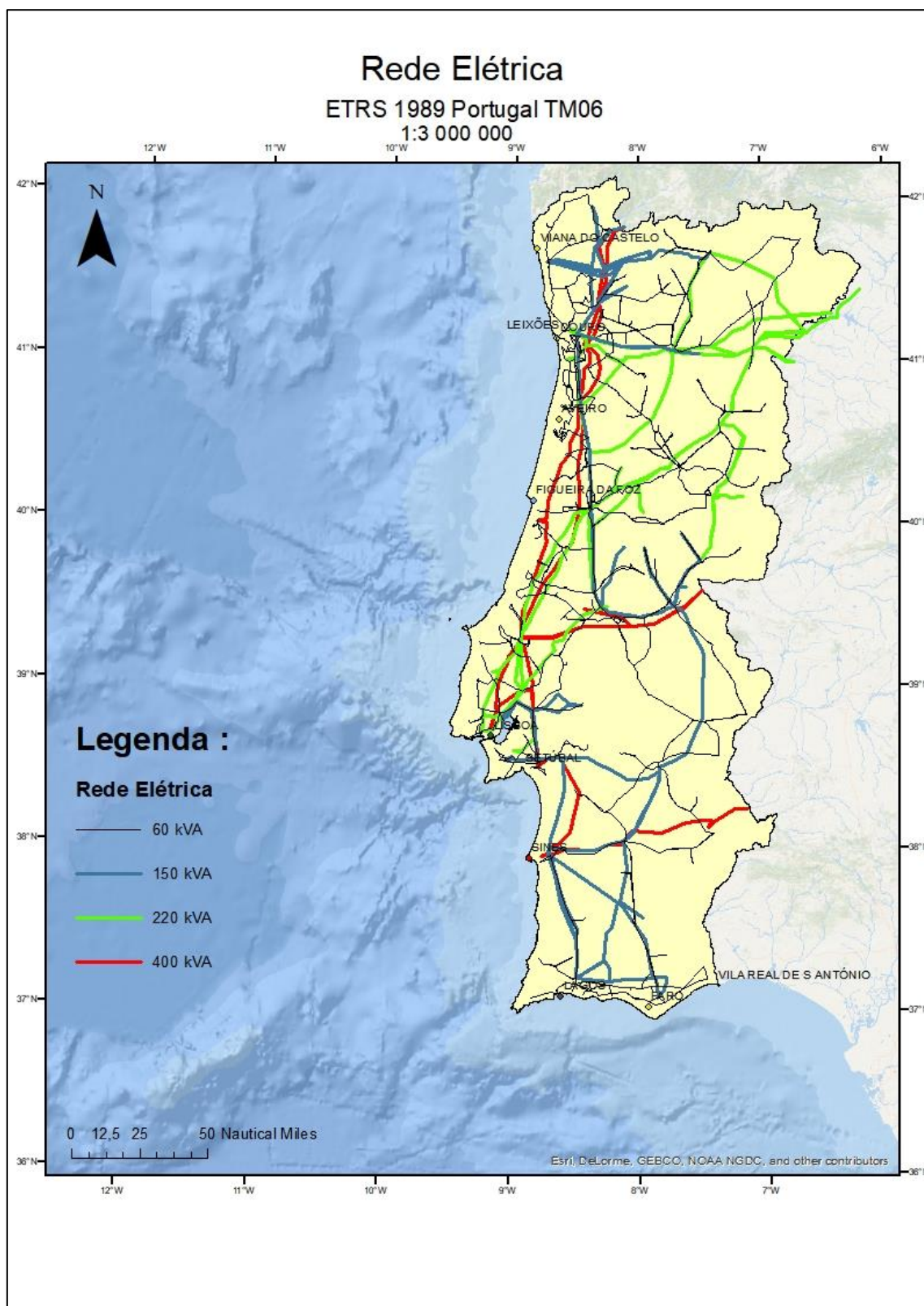
Apêndice E

Figura 38- Dados iniciais da variável Potencial eólico



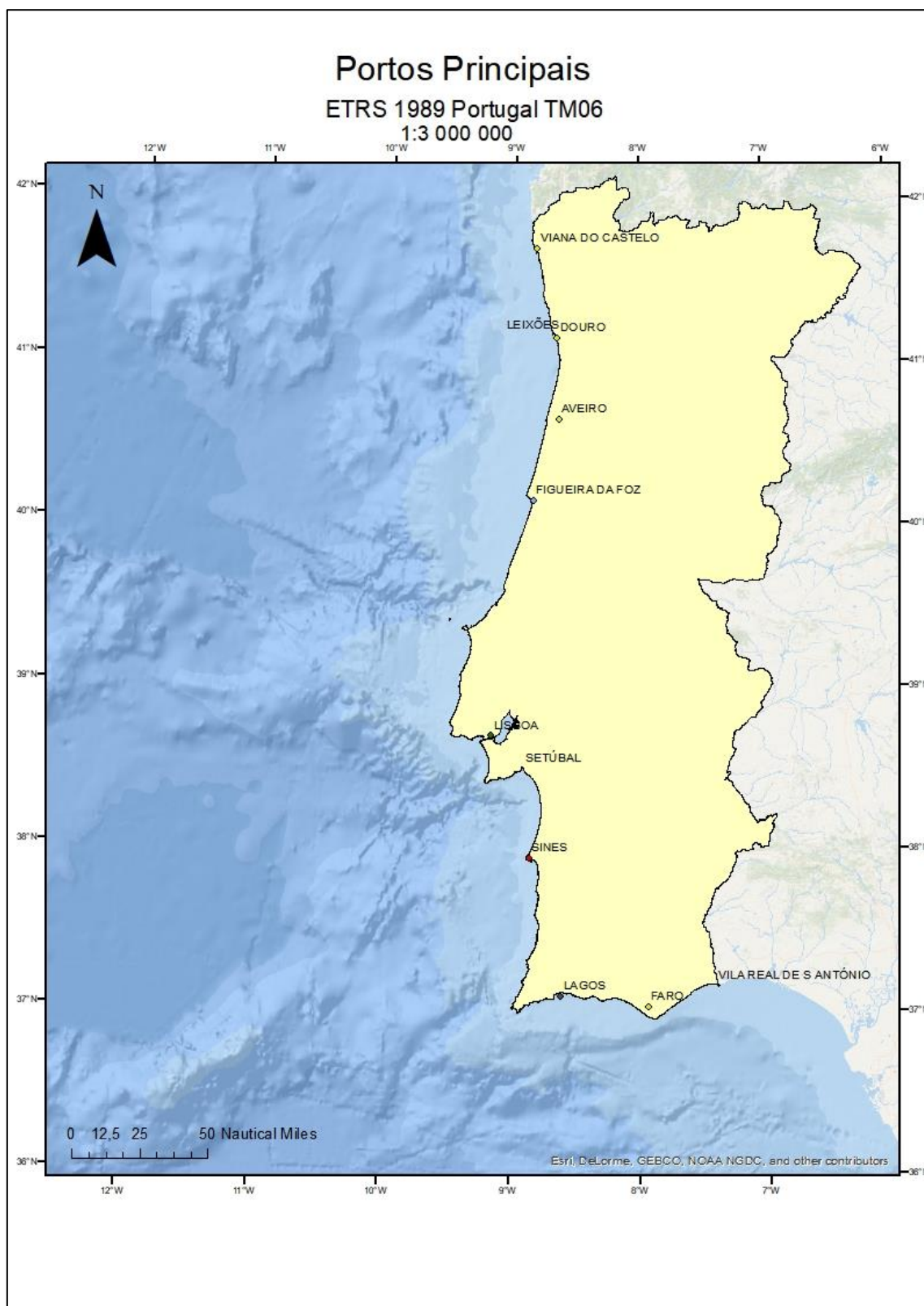
Apêndice F

Figura 39- Dados iniciais da variável Rede elétrica



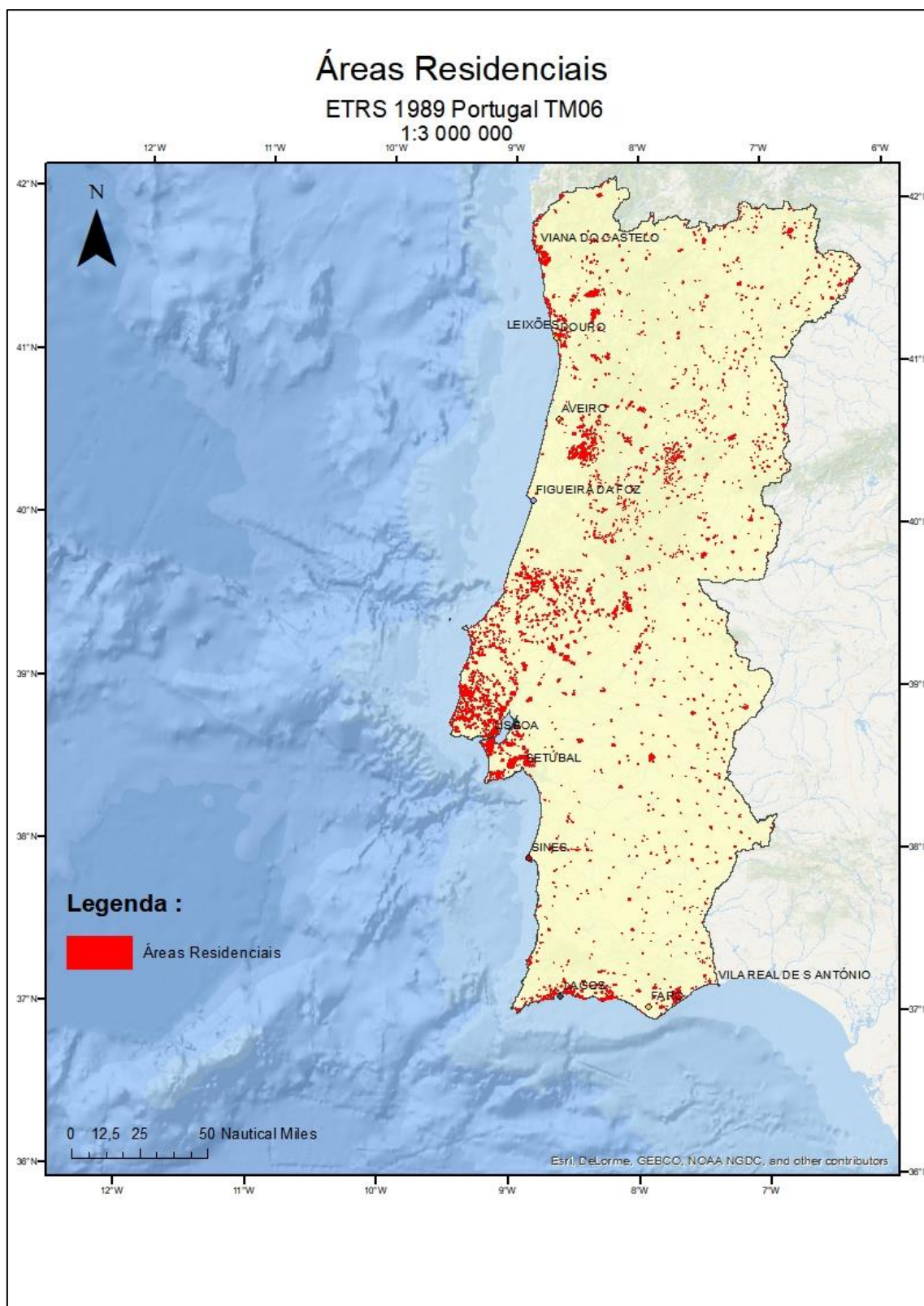
Apêndice G

Figura 40- Dados iniciais da variável Portos



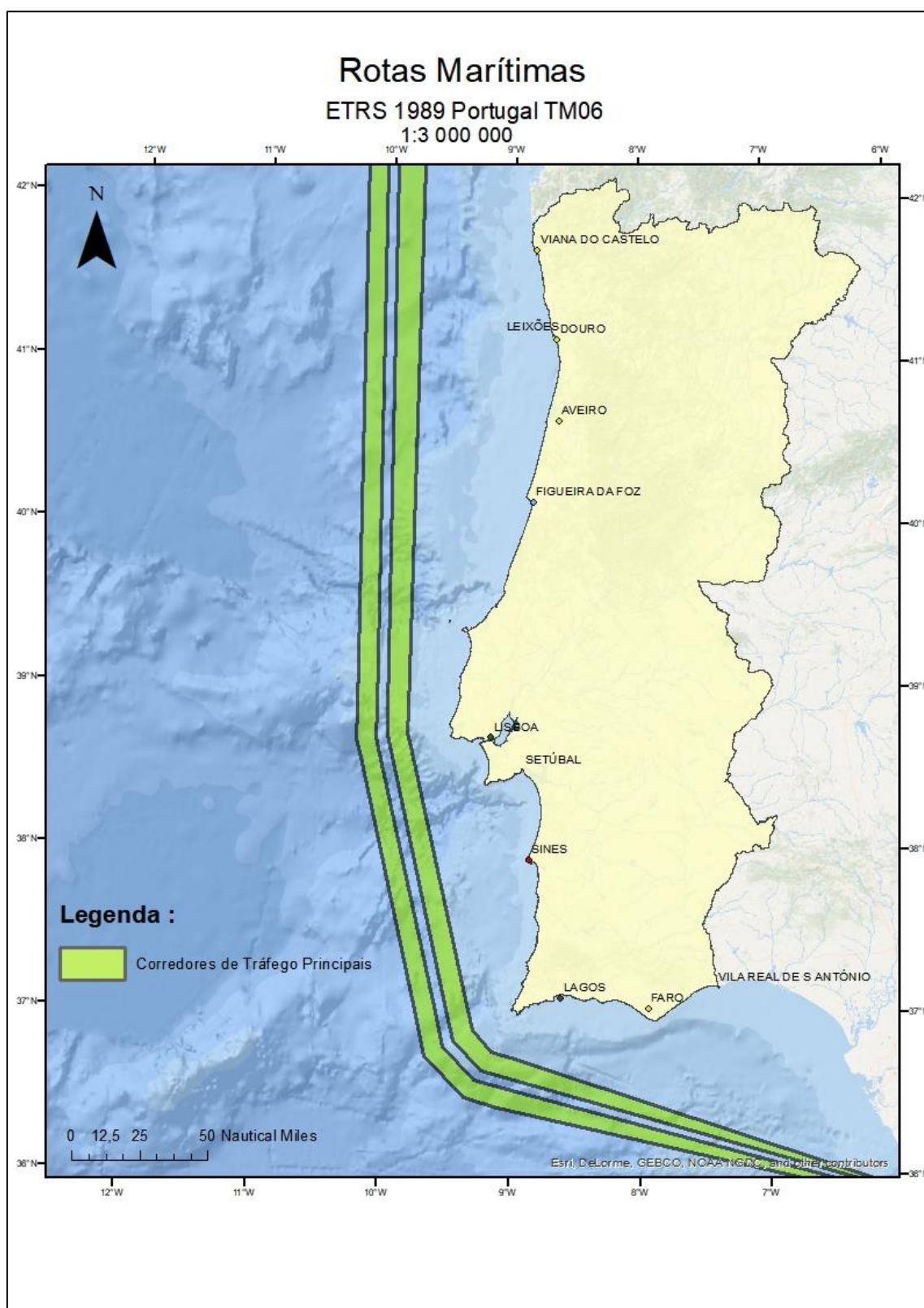
Apêndice H

Figura 41- Dados iniciais da variável Áreas residenciais



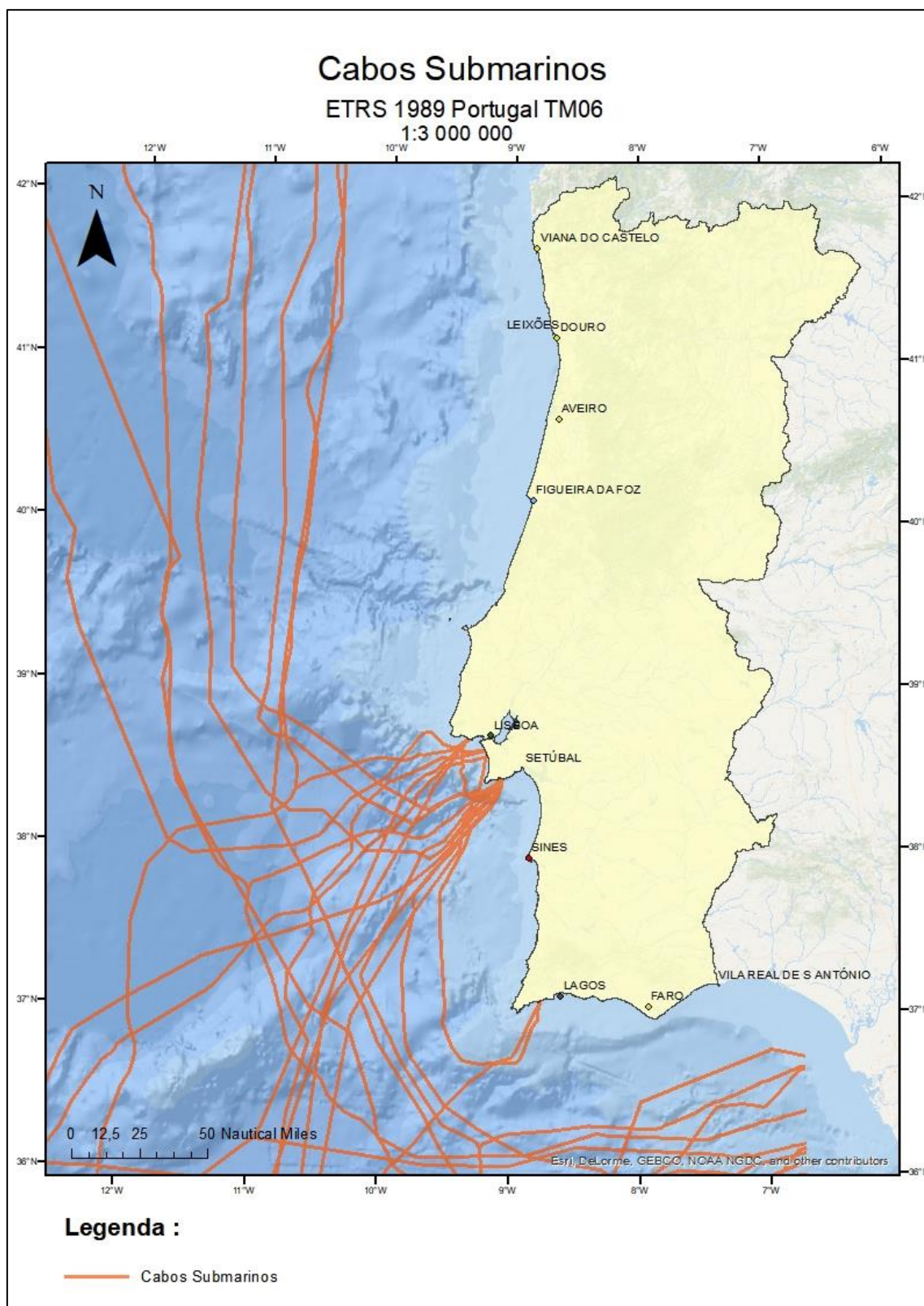
Apêndice I

Figura 42 - Dados iniciais da variável Rotas marítimas



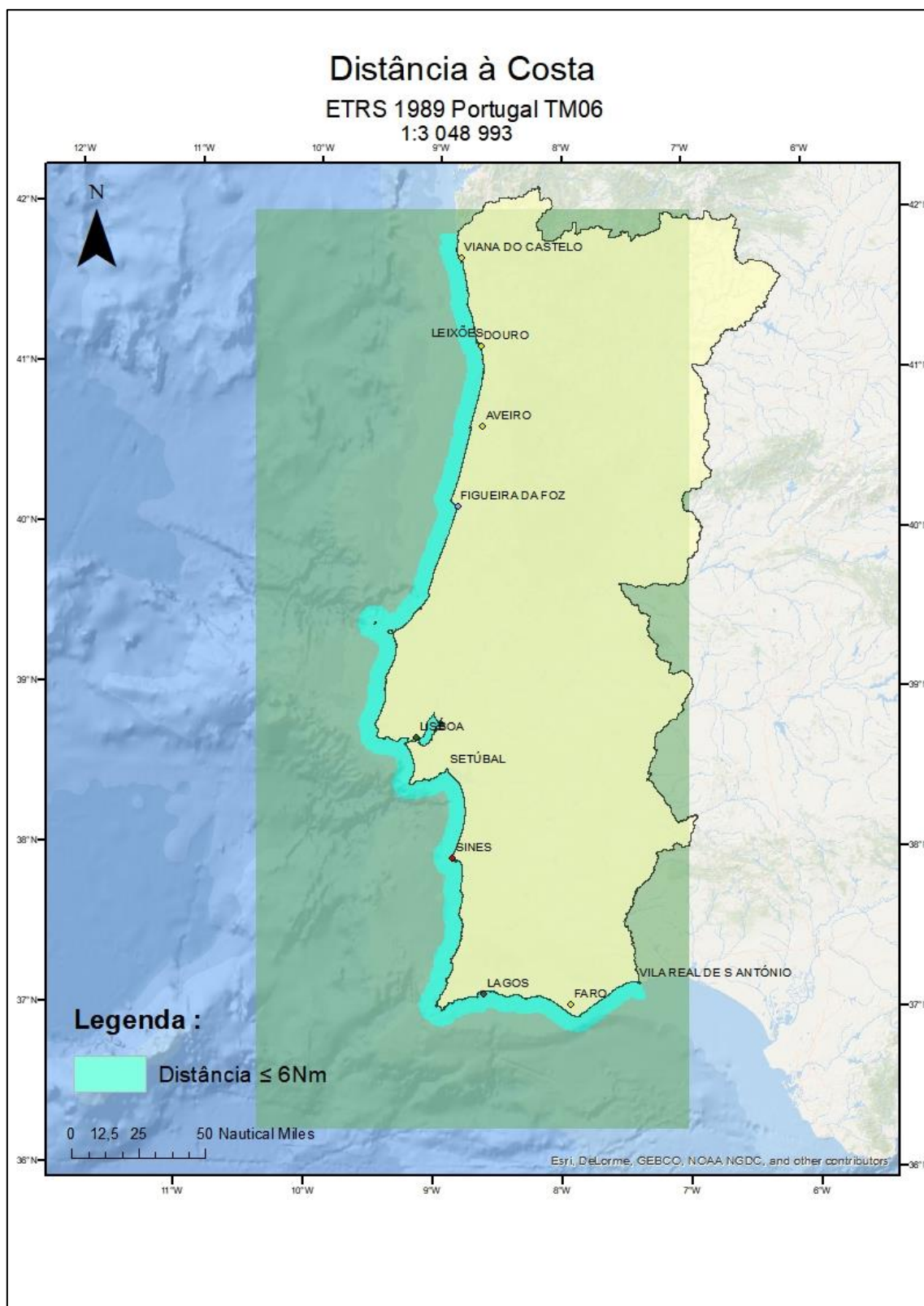
Apêndice J

Figura 43 - Dados iniciais da variável Cabos submarinos



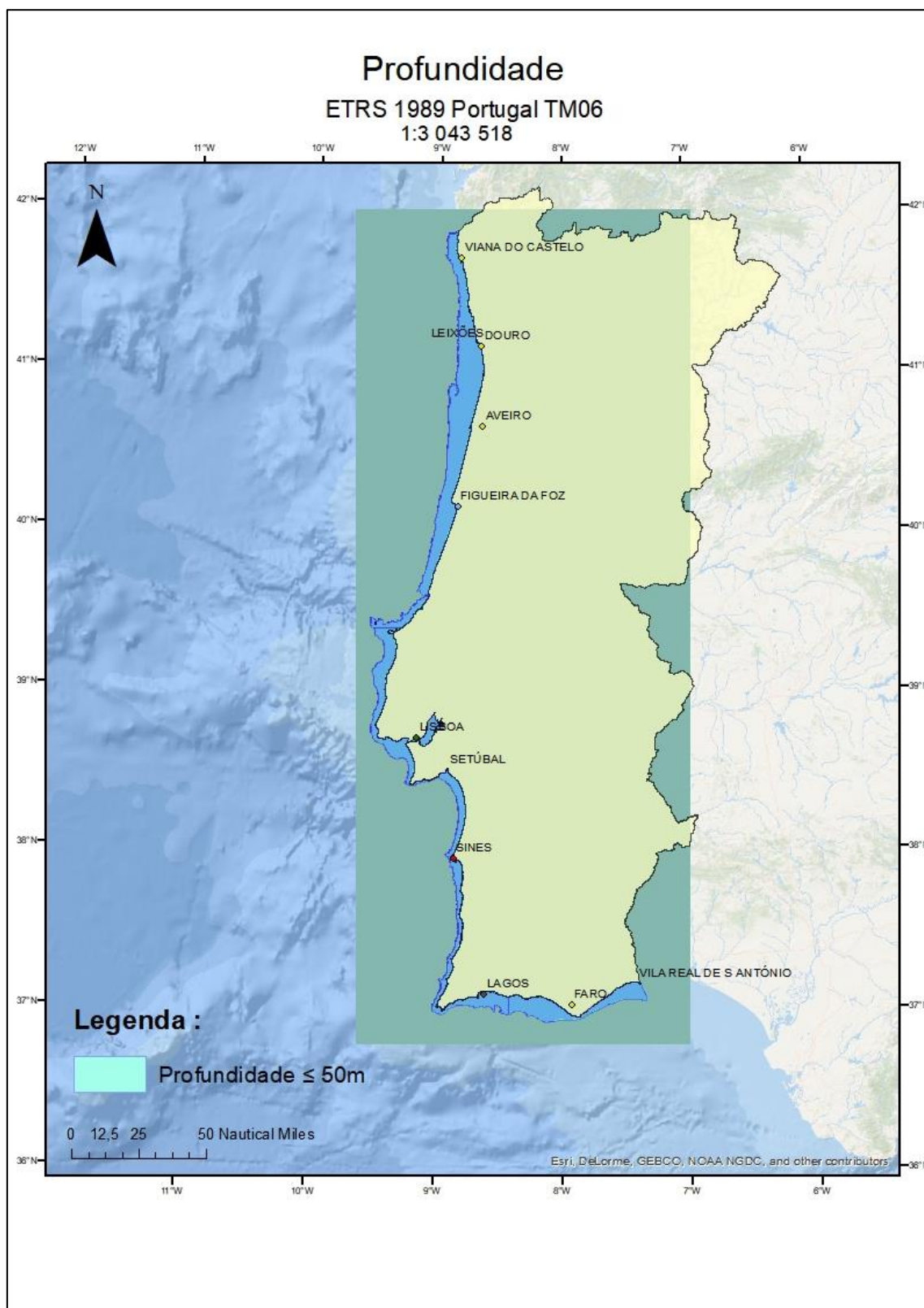
Apêndice K

Figura 44- Raster com 6 milhas de costa



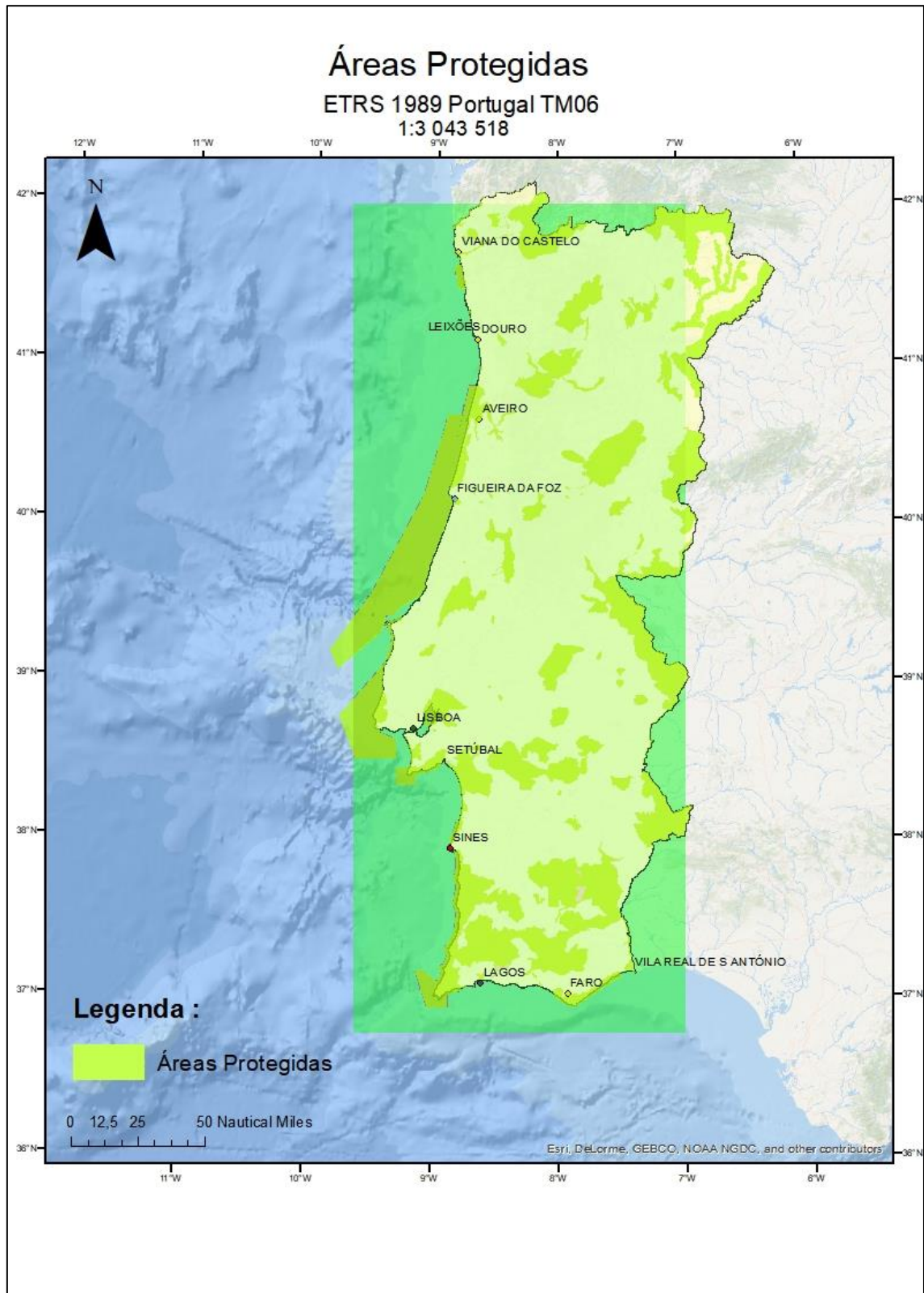
Apêndice L

Figura 45- Raster Profundidades inferiores a 50 metros



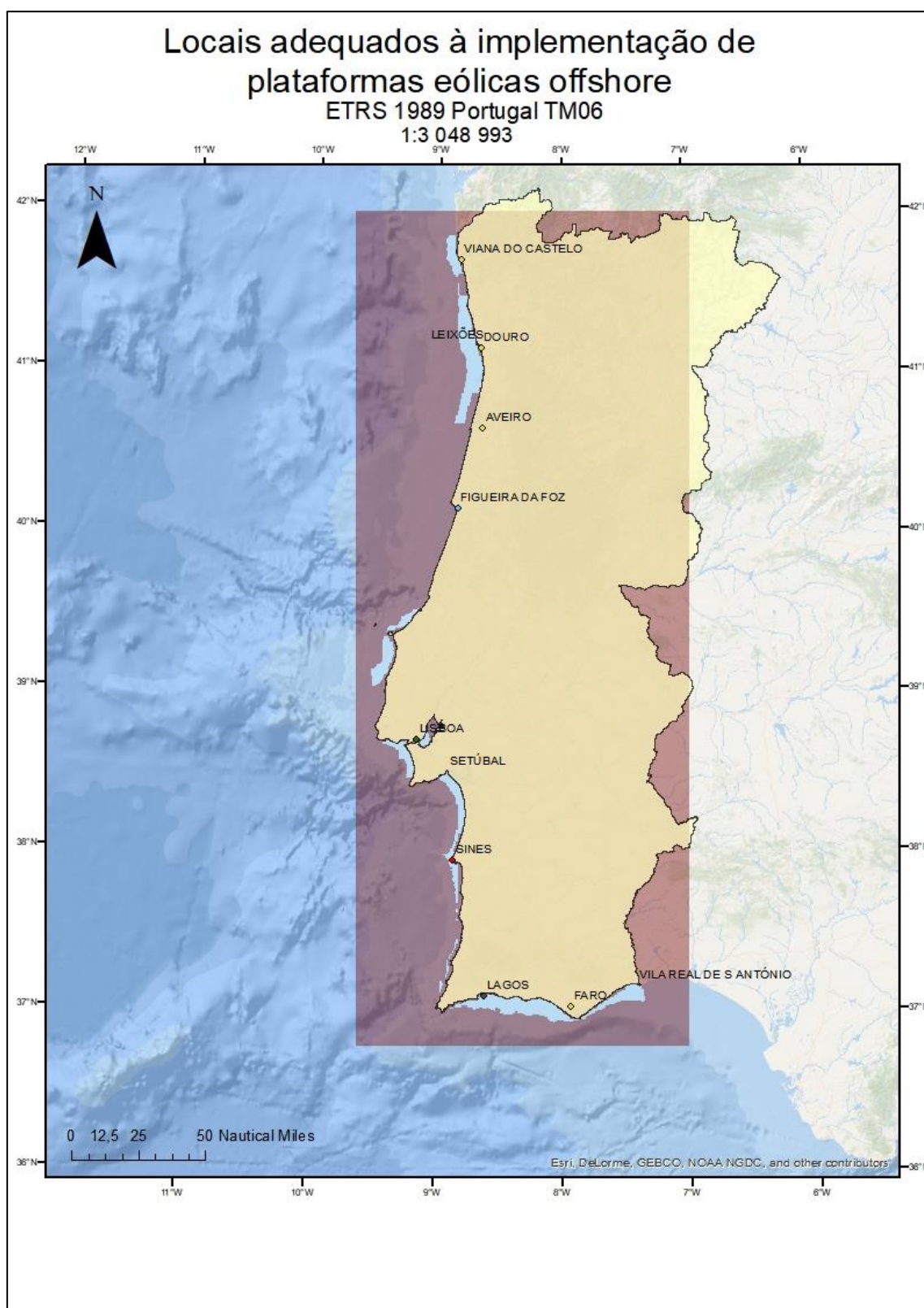
Apêndice M

Figura 46 - Raster Áreas Protegidas



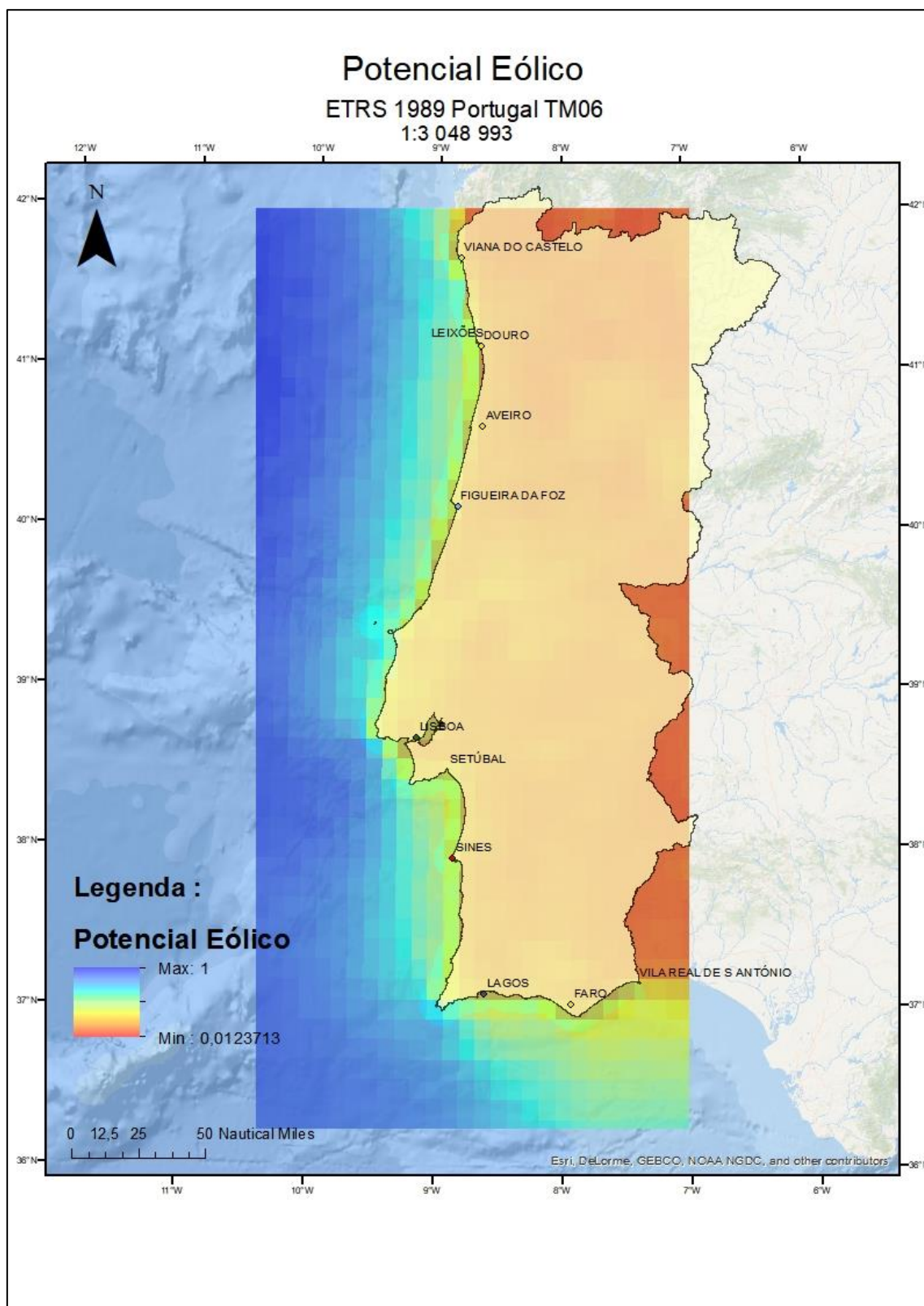
Apêndice N

Figura 47 - Raster Máscara Binária- 1ª Fase



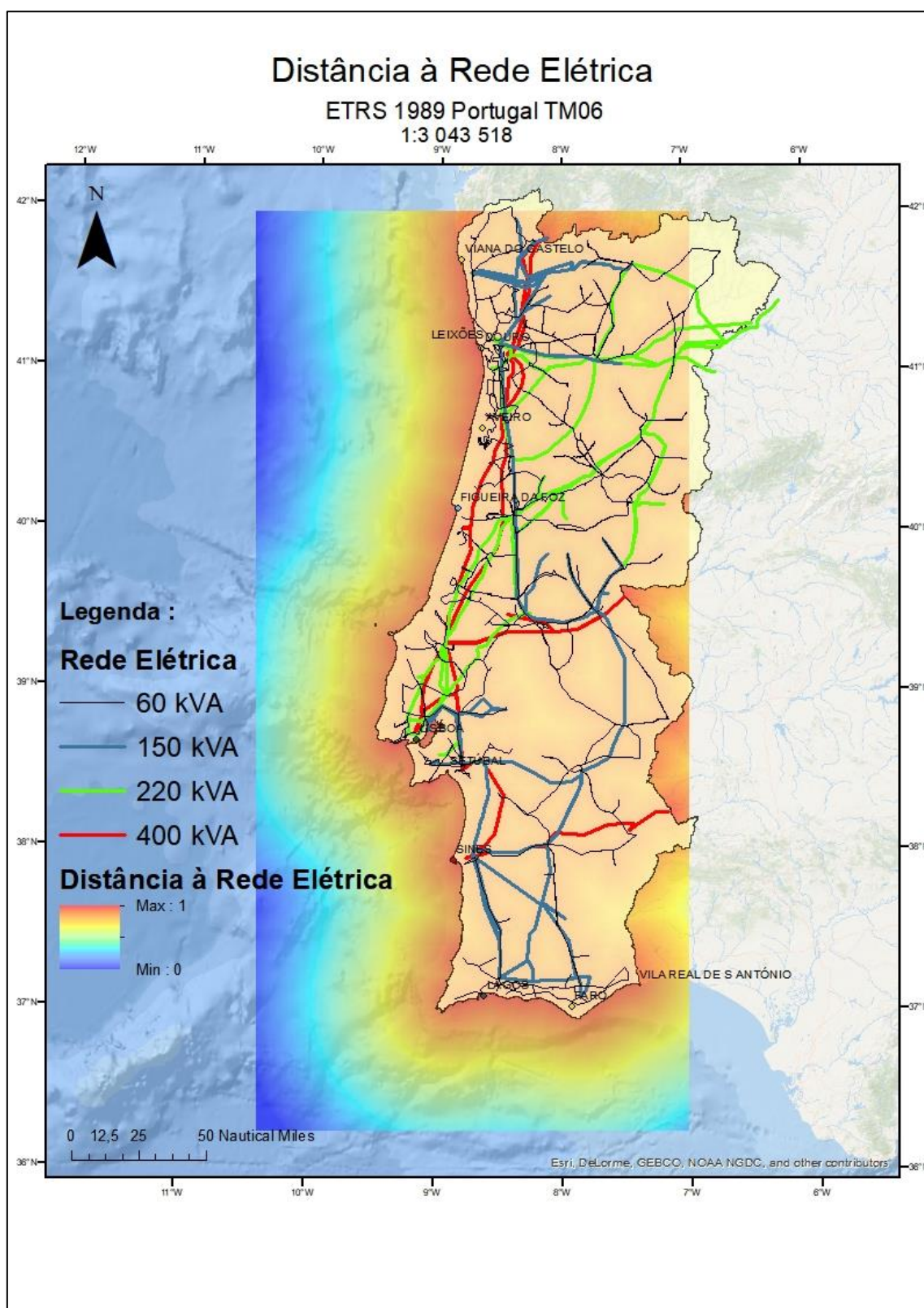
Apêndice O

Figura 48- Raster Potencial Eólico Normalizado



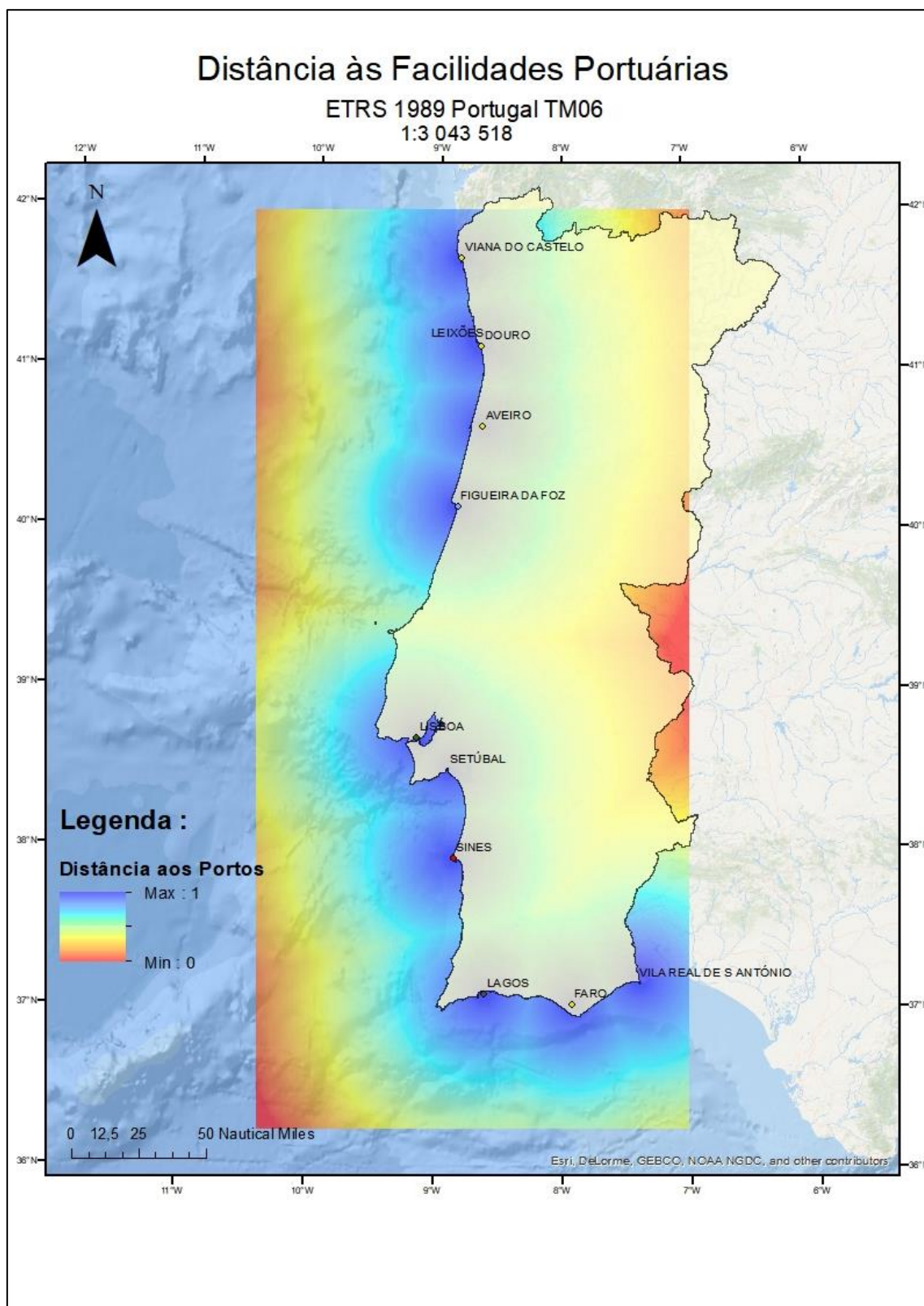
Apêndice P

Figura 49 - Raster Distâncias Normalizadas à Rede Elétrica



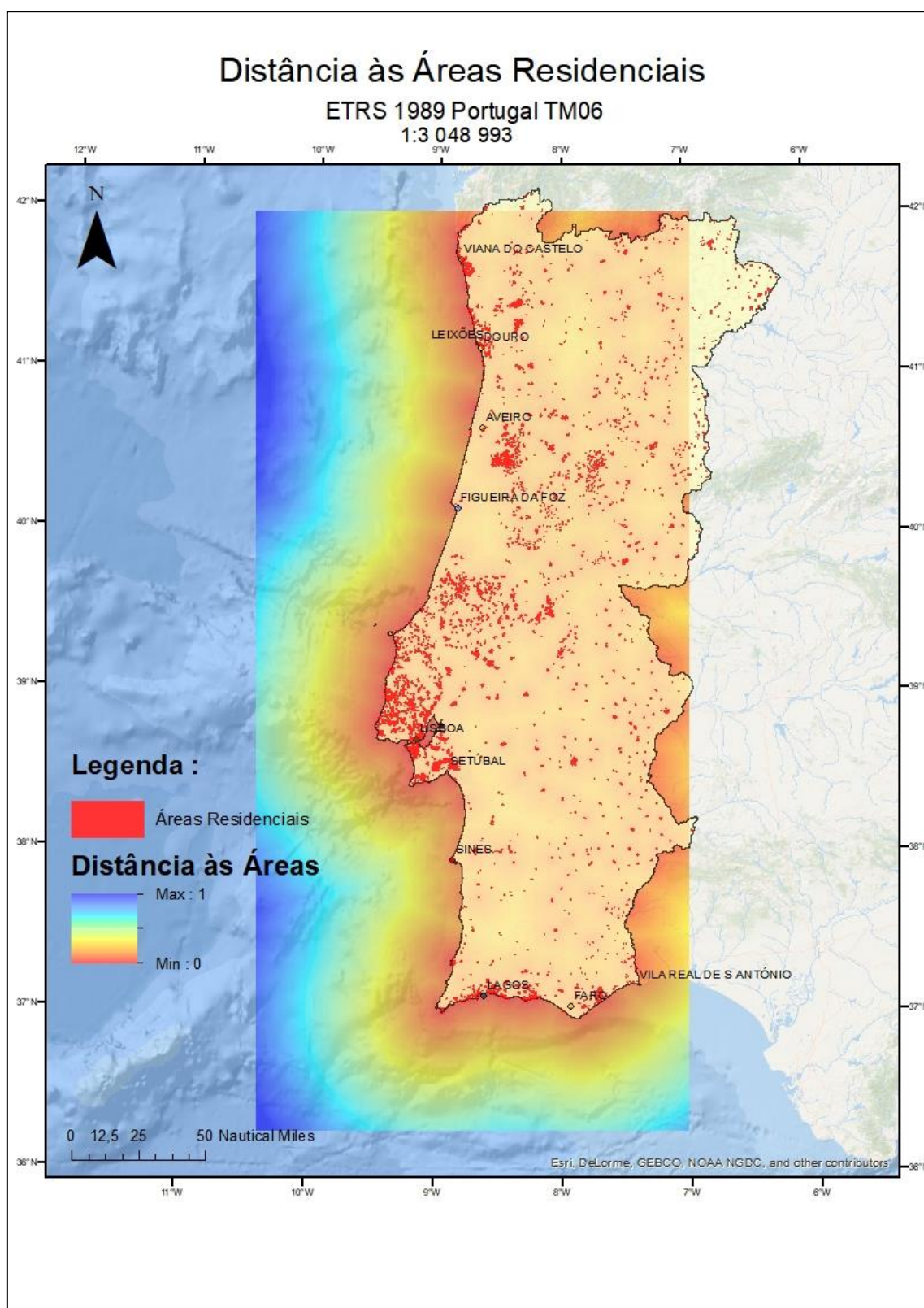
Apêndice Q

Figura 50 - Raster Distâncias Normalizadas aos Portos Principais



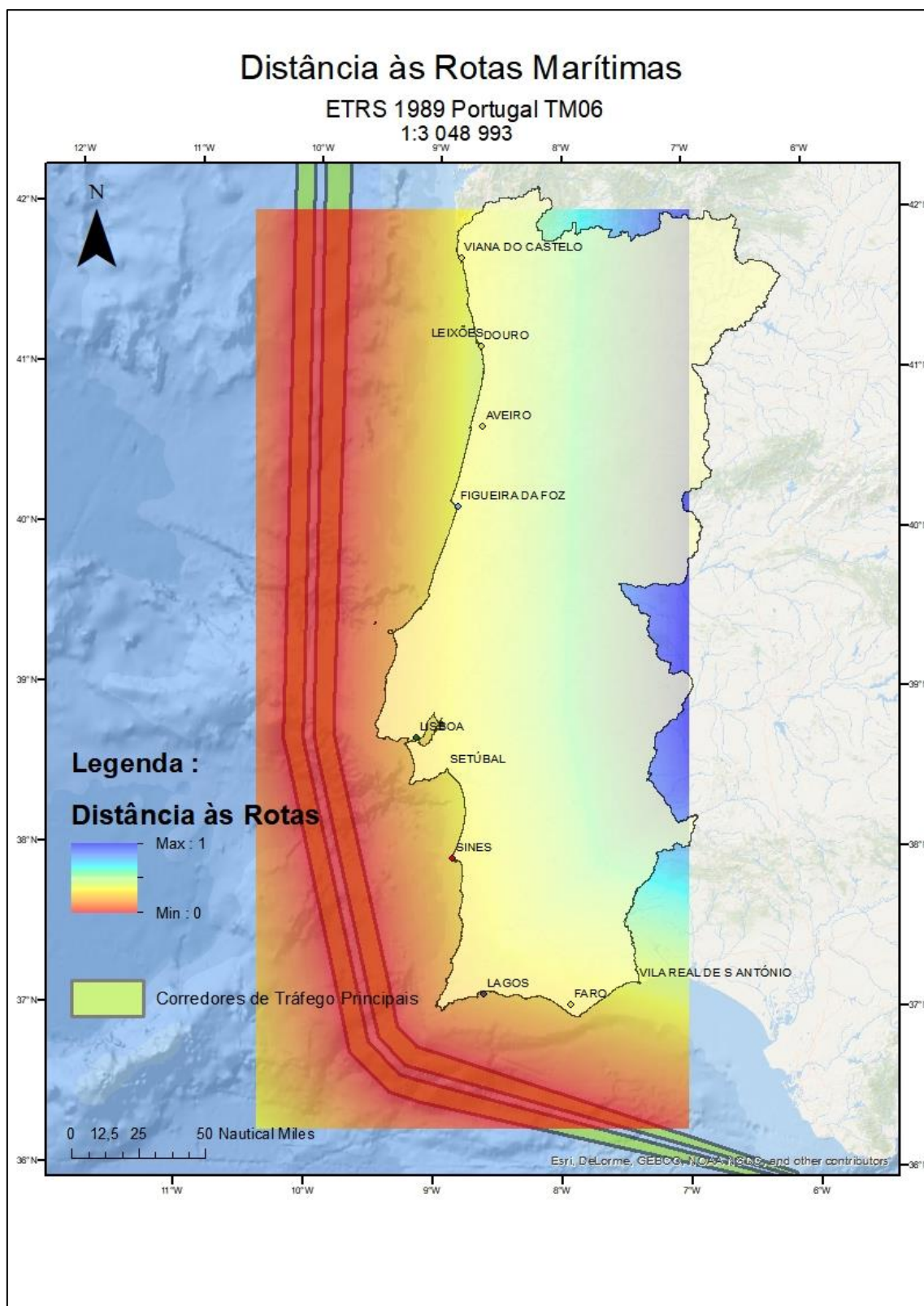
Apêndice R

Figura 51 - Raster Distâncias Normalizadas das Áreas residenciais



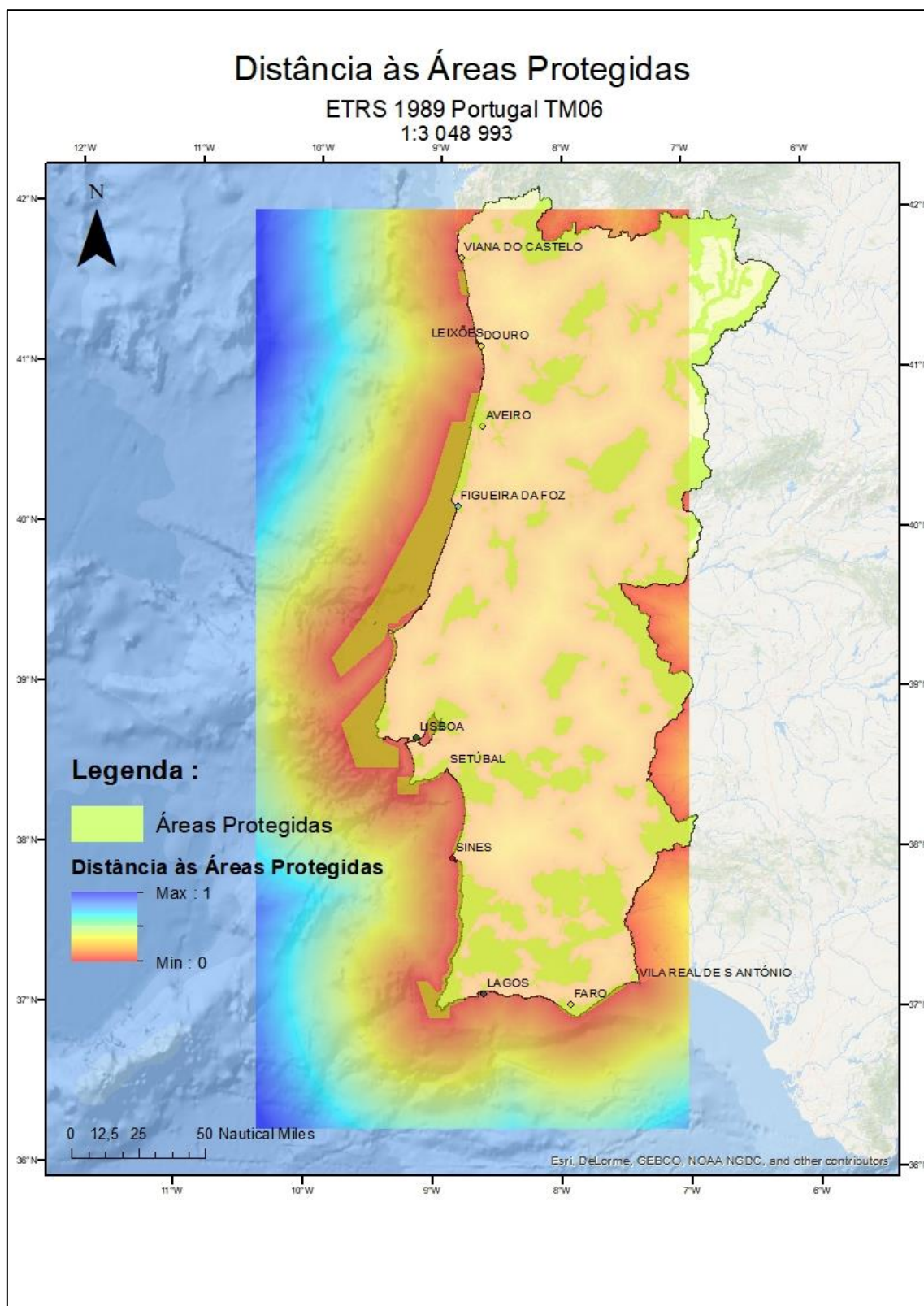
Apêndice S

Figura 52 - Distâncias Normalizadas aos Corredores de Tráfego Marítimo



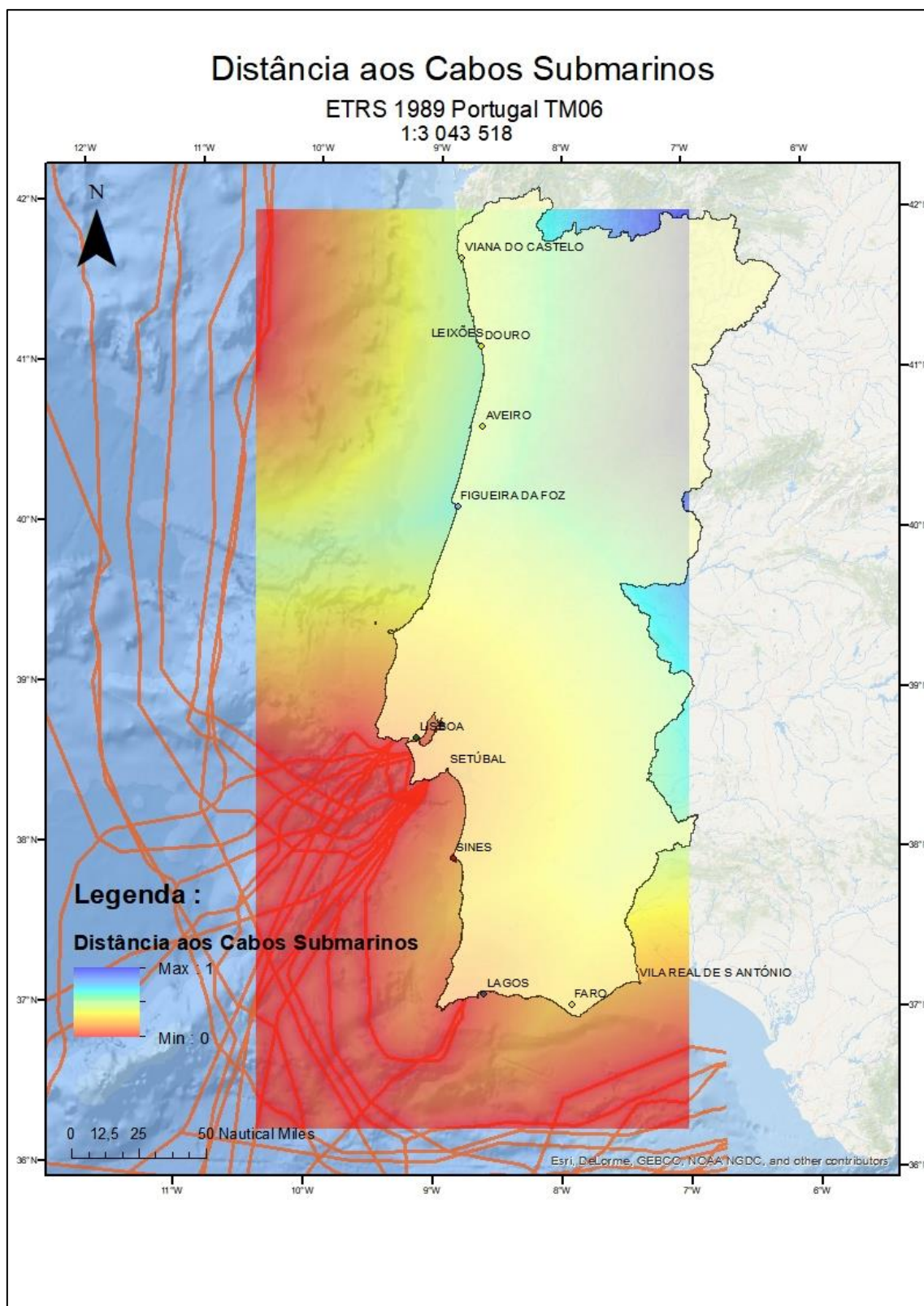
Apêndice T

Figura 53 - Raster Distâncias Normalizadas às Áreas Protegidas



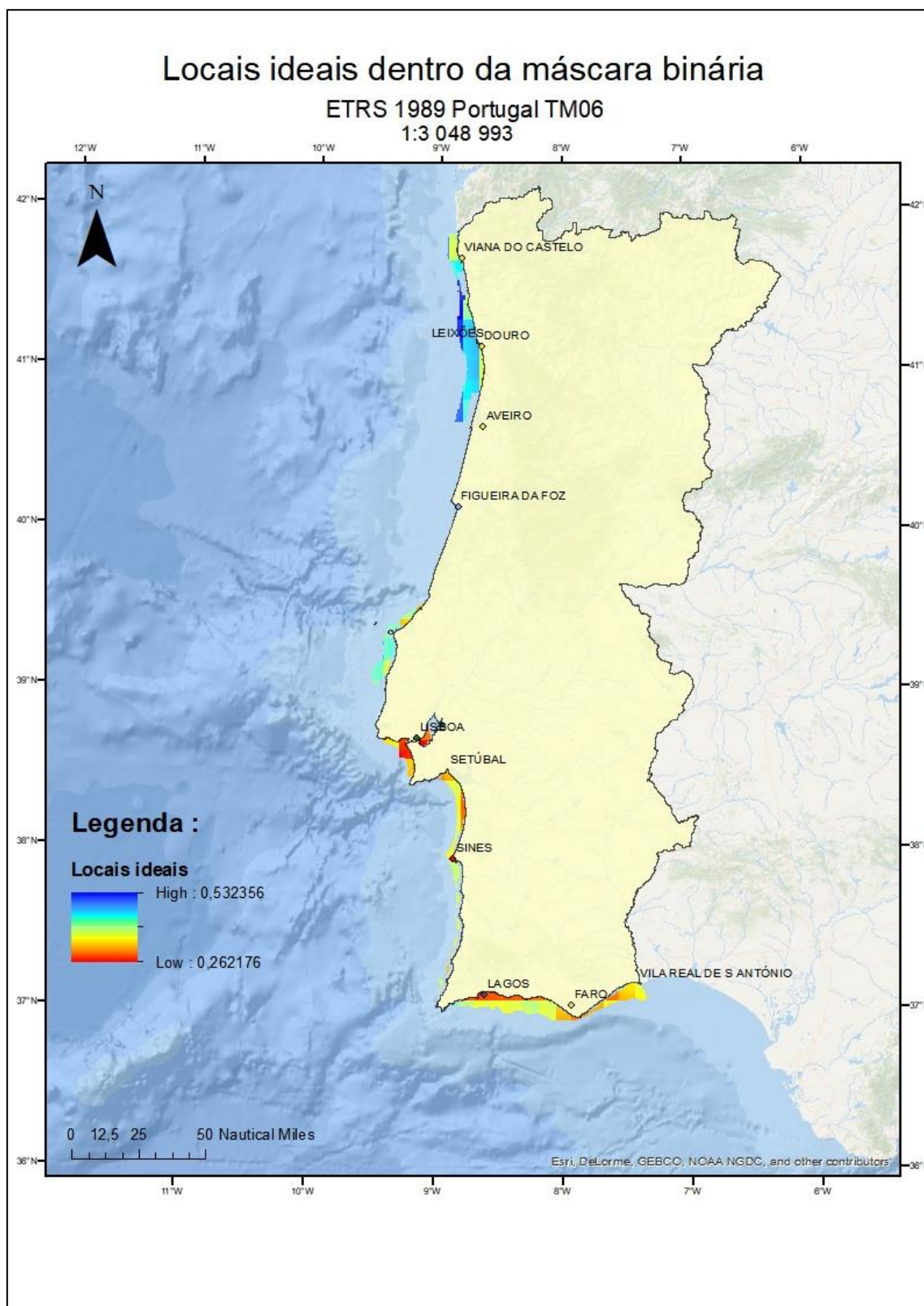
Apêndice U

Figura 54 - Raster Distâncias Normalizadas aos Cabos Submarinos



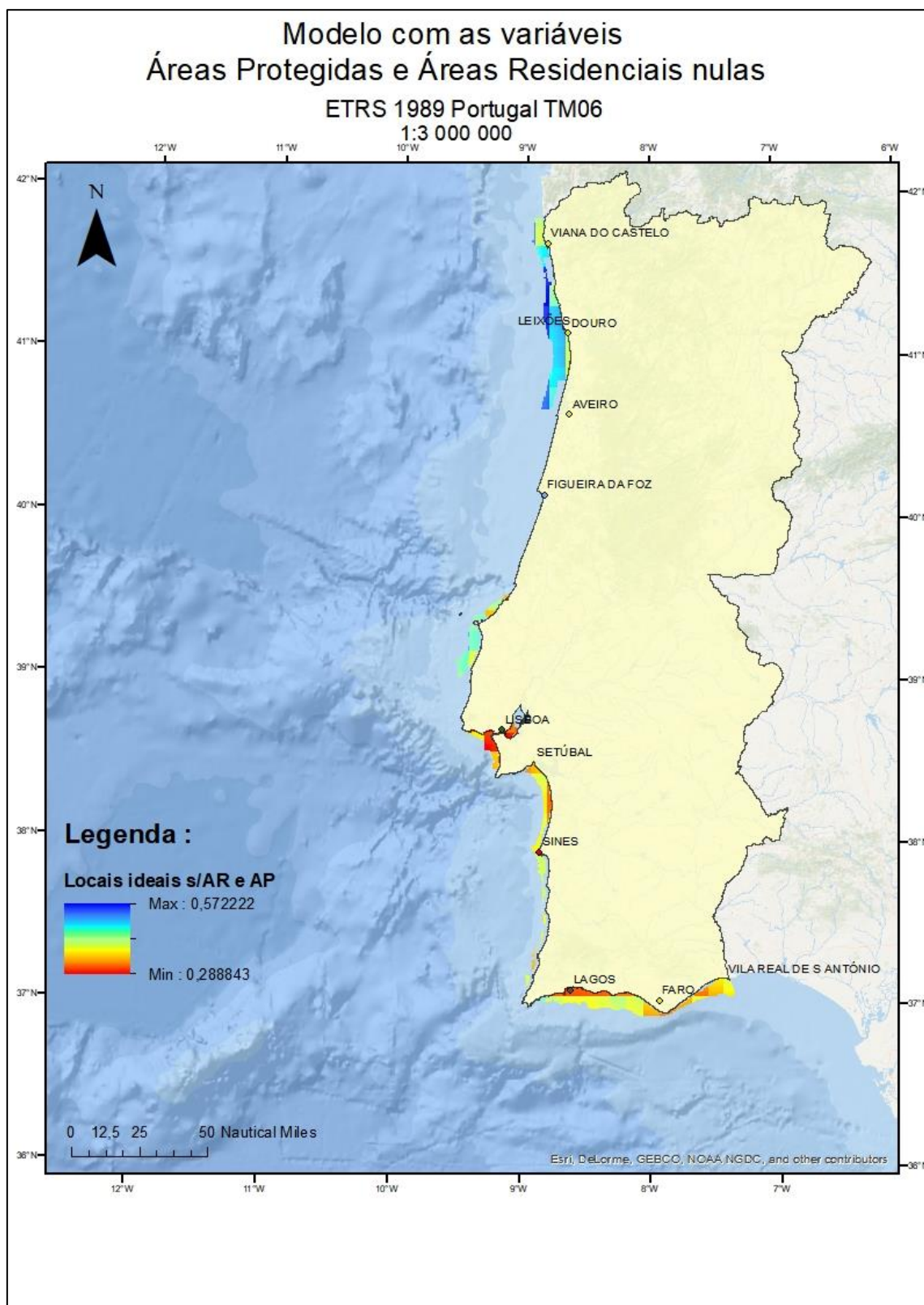
Apêndice V

Figura 55- Locais ideais para implementação de plataformas eólicas *offshore*



Apêndice W

Figura 56 - Modelo final, com Análise de sensibilidade 1



Apêndice X

Figura 57 - Modelo final, com Análise de sensibilidade 2

